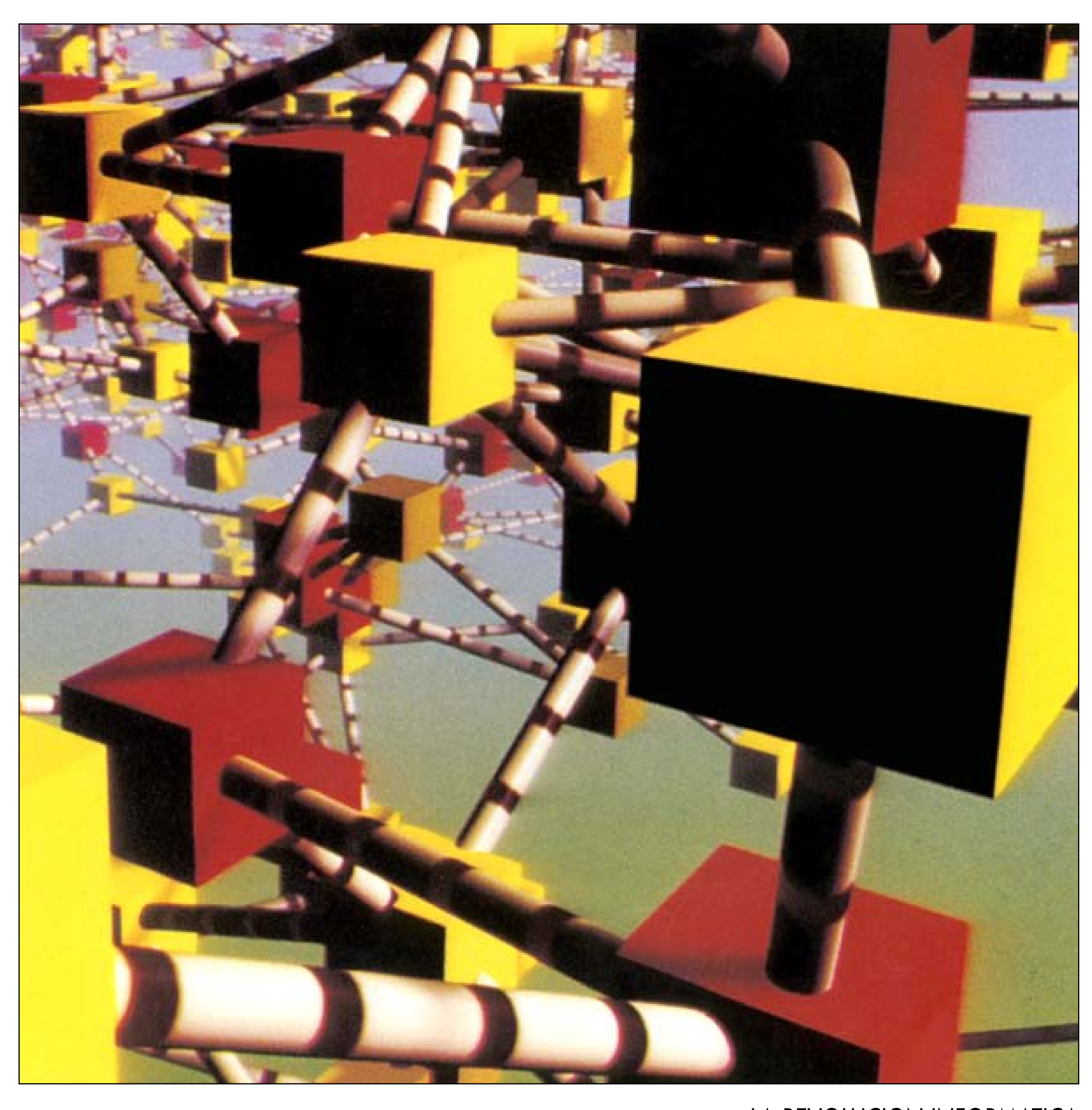
# INVESTIGACION y CIENCIA

COMUNICACIONES, ORDENADORES Y REDES

REDES INFORMATICAS EN LA EMPRESA, LA ENSEÑANZA Y EL OCIO

¿QUE ES EL CIBERESPACIO?

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN



Copyright © 1991 Prensa Científica S.A.

LA REVOLUCION INFORMATICA

NOVIEMBRE 1991
600 PTAS.

Los espacios en gris
corresponden a publicidad
en la edición impresa




Noviembre de 1991 Número 182

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN



## SECCIONES

## PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

| Página | Fuente |
|---|---|
| 6-7 | John Telford, Universidad de Utah |
| 8 | Stanley Rowin |
| 9 | NYNEX; foto de Laurie Belisle; imagen de Hubert C. Delany, © 1986 |
| 10 | Kent Kallberg |
| 11 | IBM Corporation |
| 12 | Joe Ruskin |
| 13 | Lillian Schwartz y Rick Becker |
| 16-17 | © 1991 John McGrail |
| 18 | Michael Goodman |
| 19 | Johnny Johnson (*arriba*), © 1991 John McGrail (*abajo*) |
| 20-23 | Michael Goodman |
| 24-25 | Brian K. Reid, Digital Equipment Corporation |
| 29 | IBM (*arriba, izquierda*), Digital Equipment Corporation (*arriba, derecha*), Ed Keating (*abajo, izquierda*), Apple Computer Inc. (*abajo, derecha*) |
| 30 | IBM (*foto recuadro, arriba*), Cray Research, Inc. (*foto recuadro, abajo*); Cray photo de Paul Shambroom |
| 31 | IMB (*izquierda*), Fujitsu (*derecha*) |
| 32 | Centro de Investigación Thomas J. Watson de IBM |
| 34 | Ed Keating |
| 35 | © 1970 Universal Pictures, Inc. |
| 47 | Matthew Mulbry |
| 48 | Ian Worpole |
| 49 | Ian Worpole, Matthew Mulbry (*foto recuadro*) |
| 50-52 | Matthew Mulbry |
| 57 | Quesada/Burke; cortesía de Laboratorios Media, Instituto de Tecnología de Massachusetts |
| 58 | Johnny Johnson |
| 59 | Quesada/Burke; imagen de Thomas Van Sant, Inc. |
| 60-61 | Johnny Johnson |
| 62-63 | Media Lab, MIT |
| 67 | Jason Goltz |
| 68-72 | Laurie Grace |
| 73 | Marc Skinner; imagen de Nathaniel Borenstein, Bellcore, Inc. |
| 77 | Paolo Koch, Photo Researchers, Inc. (*arriba*), Brett Froomer, The Image Bank (*abajo*) |
| 78 | Rosenbluth Travel, Inc. |
| 79 | Frito-Lay, Inc. |
| 80 | Kurt Salmon Associates (*arriba*), Edward Bell (*abajo*) |
| 81 | Edward Bell |
| 82 | JoMarie Fecci |
| 83 | Comstock, Inc./Russ Kinne |
| 84-85 | Warren Faubel/Black Star |
| 86 | Johnny Johnson |
| 87-88 | Warren Faubel/Black Star |
| 89 | National Geographic Society |
| 90 | Walter Bender, © 1984 MIT |
| 92 | Warren Faubel/Black Star |

## COLABORADORES DE ESTE NUMERO

**Asesoramiento y traducción:**

Luis Bou: *Comunicaciones, ordenadores y redes, Productos y servicios para redes informáticas* y *Juegos matemáticos*; Félix Mateo: *Redes*; Antonio Torralba: *Informática de redes para nuestra década*; Sonia Porta: *El ordenador del siglo XXI*; Amando García: *Ordenadores, redes de comunicación y trabajo*; Angel Garcimartín: *Ordenadores, redes y empresa*; Manuel Puigcerver: *Ordenadores, redes y enseñanza*; J. Vilardell: *Hace...*

**Ciencia y sociedad:** Luis Bou y J. Enric Llebot

**Ciencia y empresa:** Manuel Puigcerver

**Libros:** Juan Vernet, Luis Alonso y Francisco Bustelo


**INVESTIGACION Y CIENCIA**

DIRECTOR GENERAL Francisco Gracia Guillén
DIRECTOR EDITORIAL José María Valderas Gallardo
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN Pilar Bronchal Garfella
PRODUCCIÓN César Redondo Zayas
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
EDITA Prensa Científica, S. A. Viladomat, 291 6º 1ª - 08029 Barcelona (ESPAÑA)
Teléfonos 321 81 91 - 321 83 48 Telefax 419 47 82

**SCIENTIFIC AMERICAN**

EDITOR Jonathan Piel
BOARD OF EDITORS Alan Hall, *Executive Editor*; Michelle Press, *Managing Editor*; Timothy M. Beardsley; Elizabeth Corcoran; Deborah Erickson; Marguerite Holloway; John Horgan; Philip Morrison, *Book Editor*; Corey S. Powell; John Rennie; Philip E. Ross; Ricki L. Rusting; Russell Ruthen, Gary Stix; Paul Wallich; Philip M. Yam.
PUBLISHER John J. Moeling, Jr.
ADVERTISING DIRECTOR Robert F. Gregory
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER Claus-Gerhard Firchow
CHAIRMAN OF THE BOARD Dr. Pierre Gerckens
CHAIRMAN EMERITUS Gerard Piel

**SUSCRIPCIONES**

Prensa Científica S. A.
Viladomat, 291 6º 1ª
08029 Barcelona (España)
Teléfonos 321 81 91 - 321 83 48

**Precios de suscripción, en pesetas:**

| | Un año | Dos años |
|---|---|---|
| España | 6600 | 12.000 |
| Extranjero | 7300 | 13.400 |

**Ejemplares sueltos:**

Ordinario: 600 pesetas
Extraordinario: 775 pesetas

— Todos los precios indicados incluyen el IVA, cuando es aplicable.
— En Canarias, Ceuta y Melilla los precios incluyen el transporte aéreo.
— El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.

**DISTRIBUCION**

**para España:**

MIDESA
Carretera de Irún, km. 13,350
(Variante de Fuencarral)
28049 Madrid Tel. 652 42 00

**para los restantes países:**

Prensa Científica, S. A.
Viladomat, 291 6º 1ª - 08029 Barcelona
Teléfonos 321 81 91 - 321 83 48

**PUBLICIDAD**

Madrid: Gustavo Martínez Ovín
Menorca, 8, bajo, centro, izquierda.
28009 Madrid
Tel. 409 70 45 - Fax 409 70 46
Cataluña: Marcel Klein
M. K. Publicidad
Ortigosa, 14-16, 3º, D. 20
08003 Barcelona
Tel. 268 45 05 - Fax 268 16 07



Copyright © 1991 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 1991 Prensa Científica S. A. Viladomat, 291 6º 1ª - 08029 Barcelona (España)

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista. El nombre y la marca comercial SCIENTIFIC AMERICAN, así como el logotipo correspondiente, son propiedad exclusiva de Scientific American, Inc., con cuya licencia se utilizan aquí.



ISSN 0210-136X Dep. legal: B. 38.999-76

Fotocomposición: Tecfa. Línea Fotocomposición, S.A. Almogàvers, 189 - 08018 Barcelona
Fotocromos reproducidos por Tecfa. Línea Fotomecánica, Almogàvers, 189 - 08018 Barcelona
Imprime Rotographik, S.A. Ctra. de Caldes, km 3.7 - Santa Perpètua de la Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

# Hace...

*...cincuenta años*

SCIENTIFIC AMERICAN: "Los tripulantes que pilotan los grandes bombarderos en sus vuelos hacia Gran Bretaña se mantienen a veces a altitudes de 15.000 pies o más durante todo el trayecto. A tales alturas las temperaturas son del orden de 50 grados bajo cero, pero la calefacción crea un ambiente confortable dentro de las aeronaves. Insidioso es, empero, el efecto de la altitud; al principio, nadie se percata de la calmosa sensación de ensueño debida al cese gradual de actividad en los centros cerebrales superiores y acaso se espere demasiado antes de conectar el tubo de oxígeno. Un piloto, que en un vuelo invernal se mantenía a 20.000 pies para eludir la formación de hielo, tuvo que desengancharse de su tubo de oxígeno para levantarse y atender a un pasajero. Al retornar a su asiento fue incapaz de realizar la sencilla operación de reajustarse el tubo de oxígeno. El tubo se acercaba al enchufe guiado por su mano y luego ésta retrocedía temblorosa una y otra vez. Siguió así la cosa durante cinco minutos, mientras el avión descendía hacia la altitud peligrosa de formación de hielo. En ese momento el navegante se dio cuenta de lo que ocurría y acudió en su ayuda."

"El Doctor John G. Ruddock, médico de Los Angeles, ha perfeccionado un dispositivo para estudiar los órganos contenidos en la cavidad abdominal. Una aguja de doce centímetros y medio permite al médico introducirse en el abdomen y dilatarlo con aire. Tras retirar la aguja, se introduce una vaina metálica provista de una punta extraíble y por el interior de la vaina se desliza un telescopio. Junto a la punta se coloca una luz diminuta por delante del sistema óptico. El médico se limita a explorar el campo a través del tubo y los espejos. Entonces, si encuentra tejidos enfermos, hace bajar un par de fórceps miniatura, abre éstos con gran cuidado sobre el tejido, los cierra valiéndose de unas tijeras de mariposa y extrae una muestra. Si se produce hemorragia, acciona un interruptor para enviar una corriente de alta frecuencia por el extremo de los fórceps que coagula la sangre."

"Tenemos razones sólidas para creer que las transformaciones nucleares merced a las cuales se conserva el calor del Sol discurren mucho más rápidas cuanto mayor es la temperatura, por lo que prácticamente toda la liberación de energía tiene lugar en la parte más densa y más caliente del Sol, alrededor del centro; el resto del astro actúa sólo a modo de envuelta casi opaca que impide que el calor se escape hacia la superficie a una velocidad mayor que a la que realmente se transmite."

"Entre los nuevos inventos que han posibilitado radiotransmitir inteligiblemente a países lejanos destaca la antena de haz o antena direccional. Con este sistema podemos orientar un haz flabeliforme de energía radioeléctrica, en vez de esparcir ésta a los cuatro vientos. La antena orientable es inestimable para cubrir las zonas centradas en Río de Janeiro y Buenos Aires. Vistas desde Nueva York, esas áreas están separadas 20 grados."

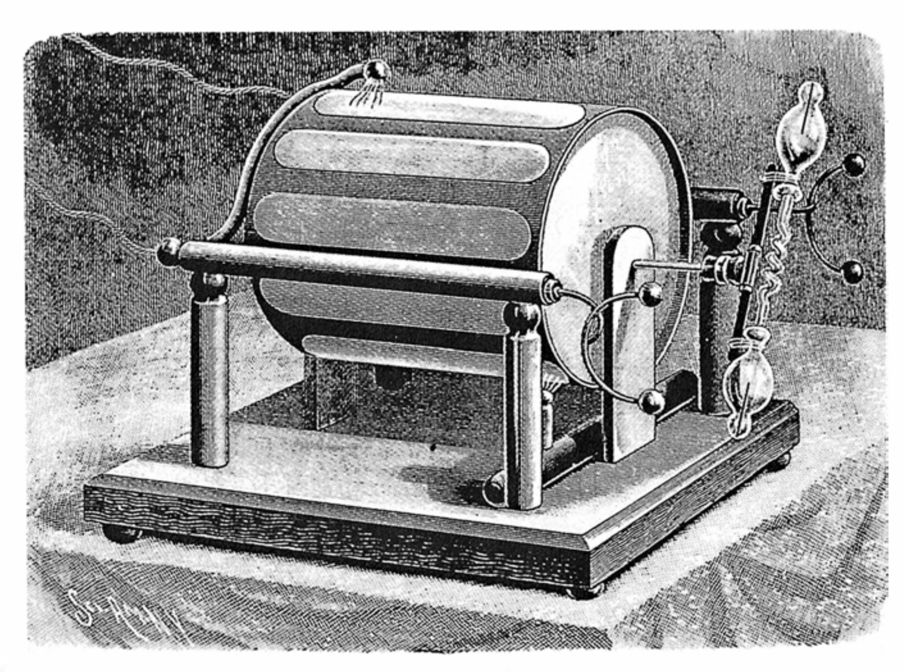
*...cien años*

SCIENTIFIC AMERICAN: "El *Leader* de Pittsburg informa que el Honorable Henry Edwards, ex miembro de la Cámara legislativa de Pennsylvania, fue visto corriendo por la calle, sin sombrero ni chaqueta ni chaleco, pidiendo socorro a voces y perseguido por una descomunal serpiente aro que corría, o más bien rodaba, tras él."

"En el número del 30 de noviembre de 1889 de SCIENTIFIC AMERICAN se ofrecía un grabado y una interesante descripción de la serpiente aro, ofidio tan común en Norteamérica que es también conocida como culebra doméstica. (Otro de sus nombres habituales es el de culebra lechera porque en tiempos se creía, erróneamente, que penetraba en las lecherías para alimentarse de leche.) En la información que allí dábamos se ponía de manifiesto que el pretendido rodar de estos reptiles es una ilusión óptica. La sierpe, para impulsarse, se encoge sobre sí formando grandes lazos, con una rapidez tan asombrosa que a un observador espantado puede parecerle que realmente rueda."

"De un curioso caso de un veneno que anula a otro nos llega noticia desde Yackandandab (Victoria), donde el Doctor Mueller ha venido administrando estricnina en casos de mordeduras de serpientes. Los dos venenos son antagónicos y los efectos reveladores de la estricnina no se manifiestan hasta después de la neutralización del tóxico. La primera acción independiente del medicamento se revela por leves espasmos musculares; hay que interrumpir en ese momento las inyecciones, salvo que pasado un tiempo se reafirme el veneno de la serpiente. Mientras éste siga activo la estricnina puede aplicarse en dosis que serían fatales en ausencia de la ponzoña."

"En la figura tenemos el motor electrostático en su forma más eficiente. Produce trabajo y aquí se muestra haciendo girar un tubo de Geissler iluminado por la misma máquina que daba potencia al motor."



*Motor electrostático.*

# Comunicaciones, ordenadores y redes

*Por fusión de las tecnologías informática y de comunicaciones podemos crear una infraestructura que dará nueva forma a la investigación, la economía, el derecho y la misma sociedad*

Michael L. Dertouzos

La era agrícola se apoyó en el arado y en los animales de tiro; la era industrial, en motores y máquinas y en los combustibles que los alimentaban. La era de la información que ahora estamos creando se fundará en los ordenadores y en las redes de transmisión de datos.

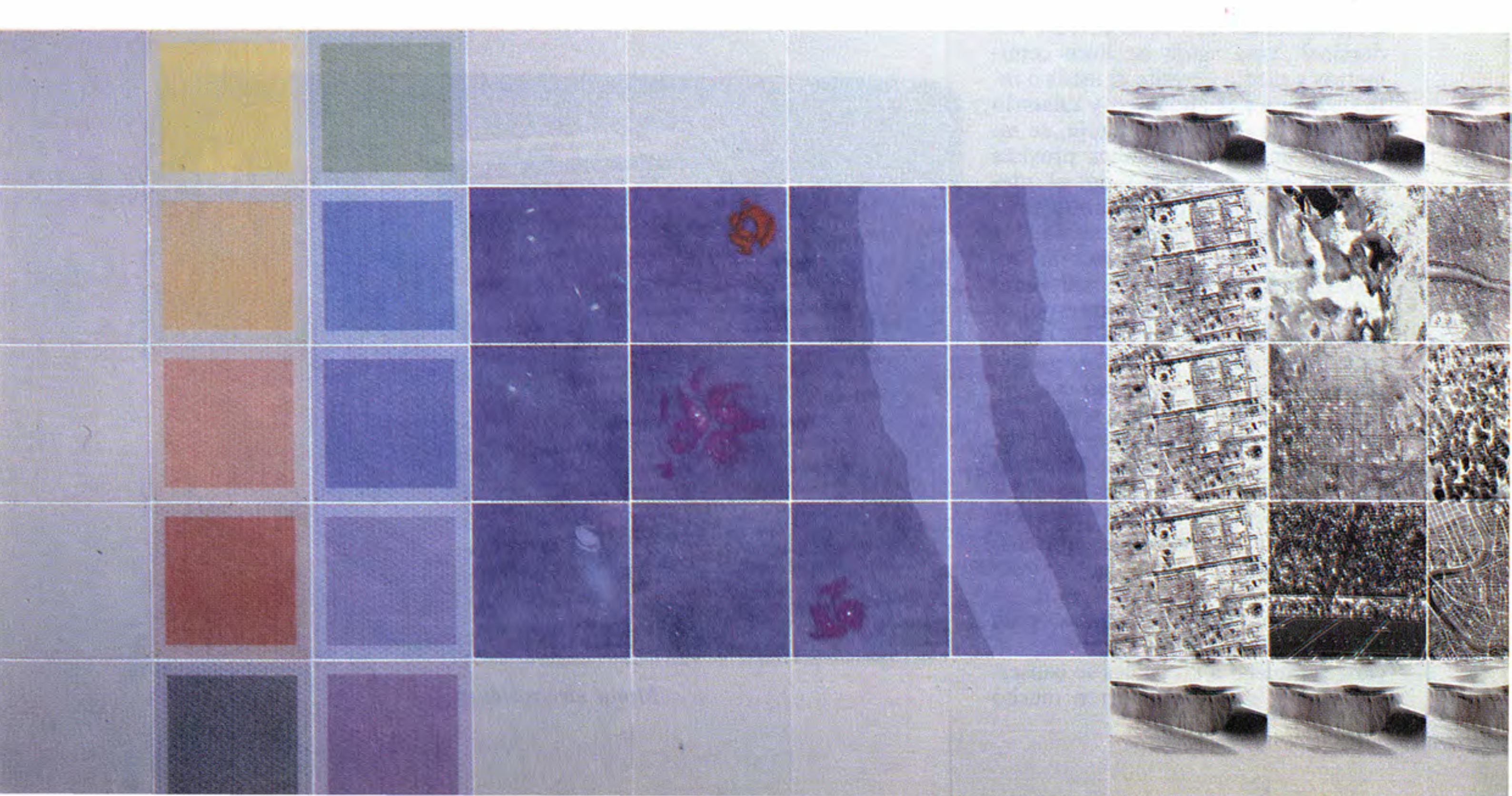
Los autores de este número especial comparten una visión esperanzada, la de un futuro edificado sobre una infraestructura de información que, al liberarnos de tareas banales, enriquecerá nuestra vida, mejorando la forma en que trabajamos, aprendemos y vivimos, al tiempo que abrirá las puertas a nuevas libertades personales y sociales.

Desde los tímidos inicios de los primeros ordenadores útiles, hace casi medio siglo, no hemos sufrido penuria de opiniones, especulaciones y pronósticos relativos a este mundo nuevo y mágico por ellos prometido. ¿Por qué, pues, dedicar enteramente este número especial a tema tal y en este preciso momento? ¿Qué novedades ha habido?

Lo que era un germen, un brote prometedor, ha alcanzado su masa crítica a resultas de una doble circunstancia feliz: las impresionantes mejoras en la relación costo/rendimiento que se han producido tanto en la tecnología informática como en la de telecomunicaciones. Los utillajes de computación y de comunicaciones han estado mejorando independientemente uno de otro a un ritmo cercano al 25 por ciento durante los dos últimos decenios cuando menos. Esta tenaz conjugación de capacidades ha transformado una débil esperanza en la mutua sinergia de un potencial inmenso.

Tan potentes han llegado a ser los ordenadores y tan elevado se ha vuelto su rendimiento económico, que podemos topárnoslos por doquier, dedicados a casi cualquier cosa que se nos pueda ocurrir. Hay supercomputadoras capaces de manipular miles de millones de instrucciones por

**1. "VENTANAS" es un mural de 2,40 por 9 metros de acero esmaltado, obra de Anna Campbell Bliss. En él se exploran los mundos que está abriendo el uso innovador de los ordenadores. La artista trata de abarcar el tiempo y el espacio, mostrándonos las formas en que los ordenadores nos permiten ver fenómenos que van de lo microscópico a lo macroscópico. La paleta de colores (*izquierda*) es típica de los programas de grafismo in-**



segundo, que permiten la predicción del tiempo y el análisis de imágenes médicas muy complejas. Hay ordenadores "sensorios" que responden a frases habladas o reconocen "de visu" las piezas en las cadenas de montaje. Hay ordenadores robóticos que transforman dichas piezas en productos terminados. Los ordenadores, como antes el microscopio y el telescopio, están abriendo a los investigadores dominios del todo nuevos, merced a la simulación computarizada de casi cualquier cosa, desde las colisiones galácticas hasta las reacciones moleculares. Cincuenta millones de ordenadores personales, para los que existen miles de variedades de programas, nos auxilian en el trabajo o en el hogar. Y millones de microprocesadores y otros dispositivos de cómputo desaparecen en las entrañas de los automóviles, hornos de microondas, teléfonos y aparatos de televisión que están por ellos controlados.

Al propio tiempo, el alcance y la velocidad de las redes de comunicaciones ha aumentado a zancadas no menos impresionantes. Millones de kilómetros de fibras ópticas toman a su cargo la mayor parte de las comunicaciones de largo alcance y son capaces de transferir datos a velocidades de hasta un gigabit (mil millones de bits) por segundo. Las redes locales se han convertido en instalaciones indispensables de numerosos edificios y vecindarios. Las redes celulares, amén de otras redes inalámbricas, permiten llegar hasta las personas incluso al conducir o caminar a pie. Y ahora, estos dos gigantes, ordenadores y redes, pueden ser conjugados para constituir una infraestructura más prometedora aún que cada una de las tecnologías por separado.

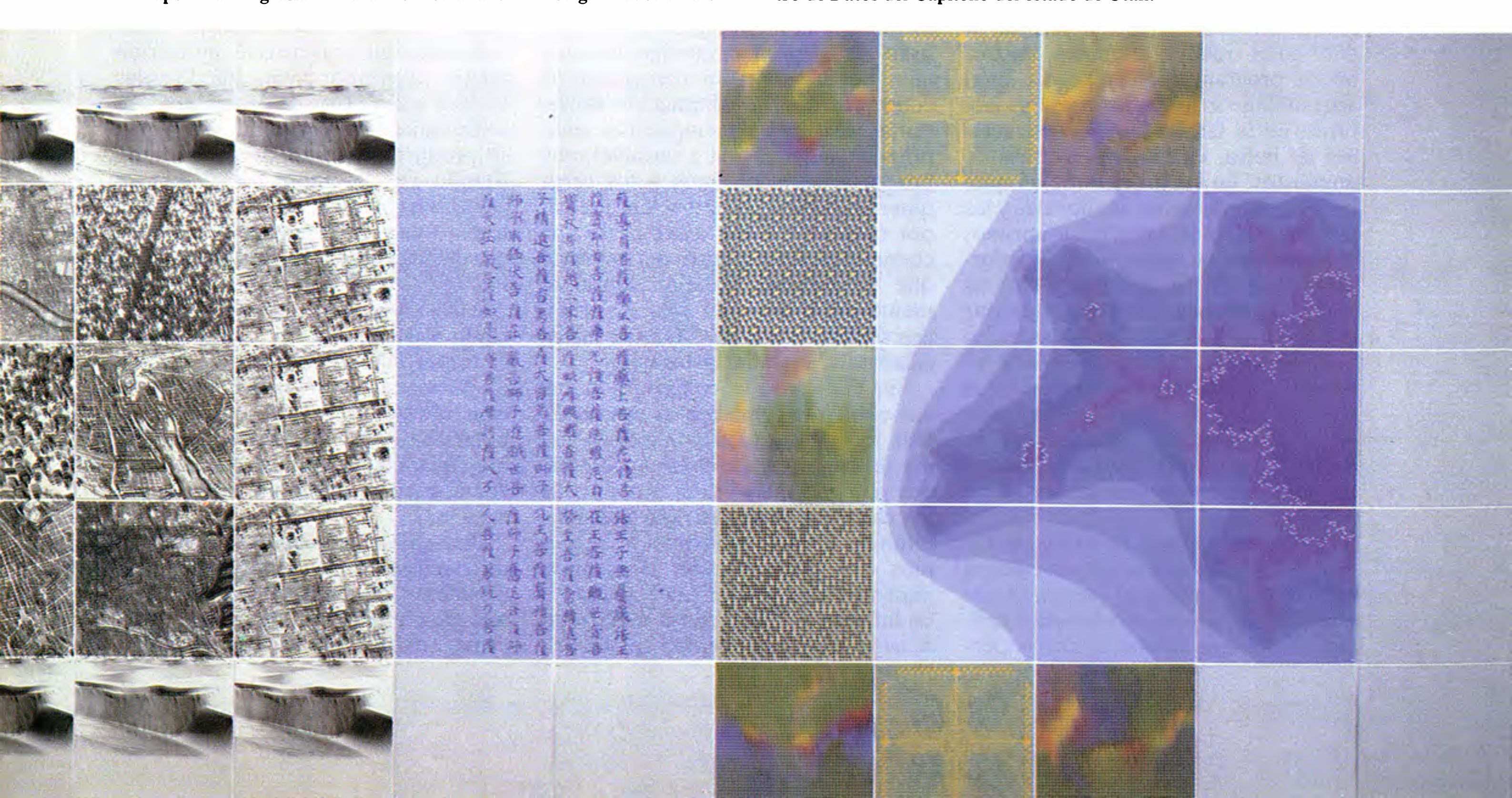
Sin embargo, los diez últimos años nos han enseñado ciertas lecciones acerca de las muchas posibilidades útiles que esta infraestructura de información ofrece, pero también sobre las dificultades que su construcción presenta. Sabemos, por ejemplo, que no se llega muy lejos amontonando ordenadores y redes sin confeccionar muy cuidadosamente los convenios comunes que les permitan comunicarse con facilidad.

La tentativa de imaginar cómo será el edificio definitivo de la era de la información y los usos a que será destinado, cuando aún estamos apenas colocando los ladrillos, constituye un reto tan difícil como pedirles a los autores de finales del siglo XVIII que pronosticasen el automóvil, el helicóptero, el avión a reacción y la miríada de otros artefactos modernos, amén de lo que nosotros hacemos con tales máquinas. Nos limitaremos, pues, a mostrar unas a modo de pinceladas impresionistas sobre lo que entrevemos de este futuro, de las tecnologías a él subyacentes y otras cuestiones que las rodean.

En un mundo donde centenares de millones de ordenadores, servidores de sus usuarios, se conectasen fácilmente a una infraestructura de información concebida a escala mundial, el correo comercial llegaría regularmente a su destino en cinco segundos, en lugar de cinco días, y de esta forma alteraría radicalmente la sustancia de las comunicaciones comerciales. Los diseñadores y los mercadotécnicos de una compañía podrían colaborar activamente en los productos, aun cuando se encontrasen a un continente de distancia y no pudieran reunirse al mismo tiempo. Los consumidores podrían dar a conocer sus necesidades a los proveedores, creando así una especie de publicidad a la inversa. Muchos bienes serían encargados y abonados electrónicamente. Los padres podrían remitir trabajos a patronos físicamente distantes quedándose en casa para cuidar a los niños. Un ingeniero retirado en Segovia podría enseñar álgebra a los alumnos de una escuela de Barcelona. Y cómodamente instalados en nuestra butaca, po-

MICHAEL L. DERTOUZOS dirige el Laboratorio de Ciencias de la Computación del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), donde enseña informática e ingeniería eléctrica. Miembro de la Academia griega de Artes y Ciencias, lo es también de la estadounidense de Ingeniería. En 1964 se doctoró por el MIT, en cuyo claustro docente ingresó de inmediato.

**formático. Se han yuxtapuesto representaciones del espacio extraterrestre a imágenes del Perú precolombino y a tomas de Salt Lake City. Bliss contrapone la caligrafía china a motivos alfanuméricos generados aleatoriamente, seguidos de una interpretación de la memoria del ordenador. Un "fractopaisaje" sirve de evocación del futuro. La obra se exhibe en el Centro de Datos del Capitolio del estado de Utah.**



dríamos dar una vuelta en coche por nuestro próximo lugar de vacaciones o visitar el museo del Prado o ver en alta definición una película de cine.

Mas tampoco faltan en la era de la información las zonas sombrías. ¿Contribuirán estas nuevas tecnologías a acentuar y ensanchar el abismo entre ricos y pobres? Sospecho que sí. ¿No serán causa de que nos veamos inundados de "infobasura", de montañas de informaciones irrelevantes para nosotros? Sí, aunque también podríamos utilizar las tecnologías para resguardarnos de tales peligros. ¿No amenazarán con deshumanizar a la gente las infracciones de la intimidad personal y el previsible aumento de delitos "de guante blanco"? No lo sabemos; hemos de estar vigilantes.

Y como ya ha ocurrido con tantos otros cambios tecnológicos, las posibilidades que en este número se describen emanan más del oportunismo que de una imperiosa necesidad humana. Consiguientemente, diseñadores y usuarios de esta infraestructura de información hemos de asumir una grave responsabilidad: hemos de comprender el valor de la información y el rol que desempeña, para mejor poder encauzar nuestros milagros tecnológicos hacia direcciones útiles.

La información afecta a toda actividad humana. Se nos presenta bajo una miríada de formas diferentes: verbal, gráfica, en vídeo, en el trabajo de oficina, en forma de programas informáticos, en el arte sublime y en el kitsch, en las facturas, en la música, en las cotizaciones de bolsa, en las devoluciones de impuestos, en las órdenes de ataque, en las cartas de amor, las novelas y las noticias. Hemos creado, asimismo, muchas vías de transporte de información, desde las grandes y baratas planas de los periódicos pasando por los sistemas postales, hasta las redes telefónicas y las cadenas de radio y televisión. Prácticamente todos estos sistemas requieren que haya humanos en el extremo receptor, capaces de comprender la información entrante y de actuar en consecuencia.

De forma análoga, los ordenadores y las redes están ligados entre sí mediante información, pudiendo desempeñar papeles groseramente análogos a los que desempeñan las personas en sus sistemas de comunicación: las redes trasladan información entre las máquinas que interconectan. Los ordenadores pueden manipular información más rápidamente de lo que jamás podrán hacerlo los humanos. Pero, a diferencia de éstos, las máquinas casi nunca comprenden los mensajes que están manipulando. Para ellas, la información no es más que una secuencia engañosamente uniforme de cifras, de ceros y unos.

Una de las ideas claves subyacentes a la estructura de información consiste en descargar a los humanos de una parte considerable de las tareas de comunicación y procesamiento de la información. A tal fin, las máquinas habrán de gestionar inteligentemente algo de la mareante diversidad de conceptos que la información representa. Así, han de empezar a comprender, siquiera sea a un nivel muy burdo, lo que los unos y los ceros quieren decir. La situación actual, por contraste, viene a ser la de una comunidad de usuarios del teléfono que pretendiese trabajar conjuntamente valiéndose tan sólo de gruñidos sin significado de diferente intensidad para trasladar mensajes.



**2. VOYAGER es un sistema interactivo de reconocimiento de voz, que facilita información viaria de Cambridge, cerca de Boston. Se está refinando en el Instituto de Tecnología de Massachusetts.**

Sin embargo, la comprensión del valor de la información es asunto difícil, incluso para los humanos. A pesar de hallarnos de continuo asediados por información, en el mejor de los casos tenemos tan sólo una idea intuitiva de su significado y carecemos casi por completo de sentido para valorarla. ¿Qué valor atribuir a un informe de 300 páginas sobre la situación económica de una compañía? ¿Qué es lo que confiere mayor valor a un folleto de 15 páginas o una buena pista sobre inversión bursátil?

En tanto no se consigue una explicación mejor, séame permitido sugerir que la información solamente tiene valor económico para la gente si lleva a la adquisición de bienes tangibles. Análogamente, la información posee valor intangible si les capacita para satisfacer deseos humanos menos tangibles. Al editor de una enciclopedia, pongamos por caso, una lista de direcciones postales de hipotéticos compradores le resulta útil porque podría servir para aumentar las ventas.

Dado que la información sólo lleva indirectamente hasta los bienes, parece razonable atribuirle una fracción del importe de los bienes tangibles a que conduce. Si la información lleva hasta los bienes por intermedio de otros elementos de información, cada uno de ellos deducido de los otros merced a cierto procesamiento, la totalidad de los datos y programas intermedios habrán también de ser valorados retrógradamente a partir de los resultados finales a que conduzcan.

Sirviéndonos de estas ideas podemos medir el valor económico de todo cuanto sea trasunto de las redes informáticas que se engendrarán en el mañana, que vendrá expresado como una fracción de los bienes tangibles a los que conducirán. En nuestros días, un país rico e industrialmente avanzado como los Estados Unidos sitúa el valor de sus equipos informáticos en una décima parte de su producto nacional bruto, contabilizando en ello tanto los elementos materiales como la programación y el trabajo necesario para hacer funcionar dichos equipos en las organizaciones que los utilizan; en total, unos 500.000 millones de dólares. Empero, como alrededor del 60 por ciento de la fuerza laboral de ese país trabaja en puestos que suponen informatización, el valor de la manipulación computarizada de información podría muy bien elevarse a una fracción mayor aún de la economía norteamericana.

Para que nos resulten valiosos, los ordenadores y las redes del mañana habrán de ayudarnos a conseguir nuestros objetivos tangibles, aun cuando nos protejan y aíslen del bom-

bardeo de infobasura generada por otros que aspiran también a conseguir sus particulares propósitos. Este objetivo prima todavía más la necesidad de que ordenadores y redes informáticas tengan una comprensión suficiente del contenido, para poder aislar, simplificar y presentar la información útil y rechazar los datos irrelevantes.

La reflexión sobre el valor de la información nos hace fijarnos en otra lección, a saber, que la información y su procesamiento habrán de revestir menor valor en los países pobres, porque no abundan los bienes tangibles a que la información pueda llevar. Existen, empero, otras vías por las que la información puede desempeñar un papel importante allí. Puede, por ejemplo, ayudar a sus gentes a cuidar su salud, a arreglar su maquinaria o a establecer mejores sistemas de cultivo. La información puede también mejorar la distribución de alimentos y medicinas. Países como la India, con núcleos laborales que poseen educación superior, podrían incluso conseguir divisas exportando programas para consumo exterior.

Mas, a fin de cuentas, la información tiende de suyo a incrementar la riqueza de quienes ya poseen bienes materiales, por la sencilla razón de que esas comunidades poseen abundantes bienes tangibles a los que la información puede conducir. A menos que los países más ricos asuman el deber de ayudar a los que se encuentran en vías de desarrollo para la correcta utilización de las tecnologías que están evolucionando, lo más probable es que la era de la información ahonde la brecha que media entre quienes tienen y quienes no.

Las naciones ricas han de recordar igualmente que, si su enamoramiento por el encantador atractivo de la era de la información llega a deslumbrarlas y dejan de producir y mejorar la riqueza tangible —como los alimentos, los bienes manufacturados, los recursos naturales y los servicios humanos—, el coloso informático no conducirá absolutamente a nada y en consecuencia se vendrá abajo. La información, después de todo, tan sólo ocupa un lugar secundario frente a otras necesidades humanas: salud, alimento, cobijo y relaciones personales. En una crisis, hasta los más entregados infomaníacos estarían prestos a cambiar millones de octetos de programas por unas cuantas migajas de pan.

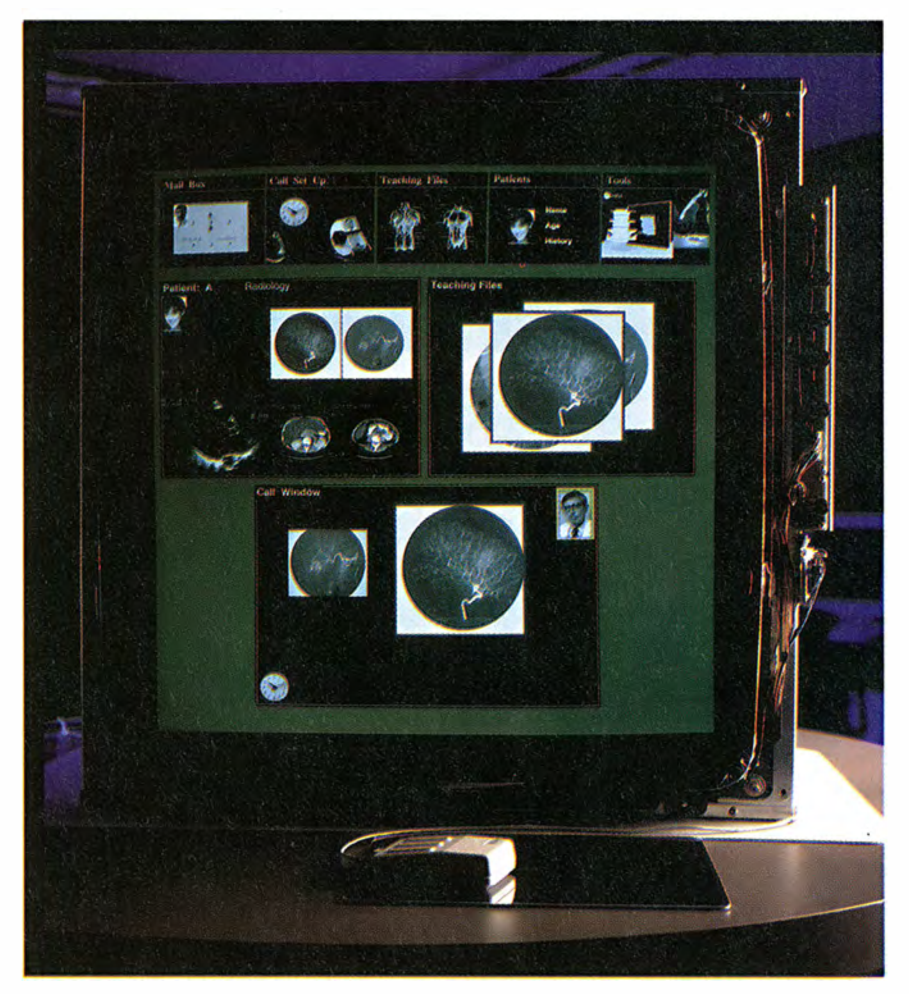
Comenzaremos a cosechar el valor de la información cuando hayamos creado una infraestructura que multiplique la eficacia de nuestro trabajo. El entramado de ordenadores, teléfonos, cadenas de radiotelevisión y otras clases de redes no constituye el tipo de potente infraestructura de información que hemos imaginado, como tampoco constituían un sistema nacional de autovías los miles de carreteras de tierra apisonada de la España de la primera mitad de siglo.

Las infraestructuras bien establecidas, como el sistema de autopistas, las redes telefónicas o el suministro eléctrico, poseen varias propiedades sencillas y potentes. Además, son sencillas de utilizar. No se precisa mayor esfuerzo que enchufar una clavija o hablar ante un teléfono. Y lo que es de suma importancia: estas infraestructuras sirven de cimientos para un sinfín de actividades útiles. Por el teléfono resolvemos asuntos de nuestros negocios o charlamos con la familia; por las carreteras transportamos personas, alimentos y toda clase de bienes, y así por menudo.

Usando tales criterios como vara de medir, vemos que en ningún lugar del mundo existe una infraestructura de información. Aprender a usar un ordenador provoca todavía dolores de cabeza. Y resulta imposible construir tan siquiera una aplicación que sea utilizable por todos los ordenadores de un país.

Para huir del caos actual e integrar ordenadores y redes en una auténtica infraestructura de información hemos de dotar a las redes nacionales de tres propiedades cruciales: primera, versatilidad y flexibilidad de capacidad de transporte de información; segunda, servicios comunes; y por último, convenios de comunicaciones comunes y normalizados.

Versatilidad de transporte significa que la infraestructura sea capaz de trasladar información con diversos grados de velocidad, seguridad y fiabilidad de unos ordenadores a otros. Tal requisito difiere inmensamente de las capacidades de la infraestructura telefónica, que fue construida para la transmisión de señales de voz digitalizadas a una velocidad fija de 64.000 bits por segundo con grados uniformes de seguridad y fiabilidad.




**3. PROTOTIPO DE AUXILIAR MEDICO MULTIMEDIO, desarrollado por NYNEX. Muestra, a través de una pantalla de alta definición, la clase de información a la que pueden acceder los médicos de cuatro hospitales de Boston a través de una red experimental.**

Los humanos se limitan a hablar a través de las redes telefónicas, pero los ordenadores pueden llevar a cabo actividades mucho más diversificadas. Los ordenadores pueden enviar información en un amplio abanico de velocidades, que van desde unos pocos millares de bits por segundo, para un mensaje breve de texto puro, hasta decenas de millones de bits (megabits) por segundo, si se trata de videoimágenes de alta resolución.

En los ordenadores, también son variables las necesidades de acceso y de seguridad: la contratación electrónica de un crédito personal exige mayor seguridad que una conversación sobre deporte. Es preciso que ciertos mensajes sean enviados con mayor precisión que otros. Las transferencias de programas, de fondos o de datos médicos críticos reclaman una perfección total. La transmisión de fotografías, en cambio, tolera ciertas imperfecciones, pues en este caso, la pérdida de unos cuantos bits no altera el significado del mensaje.

Si los usuarios de ordenadores saben ajustar estos "mandos", esto es, saben elegir la combinación adecuada de velocidad, seguridad y fiabilidad de transmisión que más conviene a su tarea, no tienen por qué abonar por el servicio más de lo necesario. La alternativa, un servicio de transporte sumamente seguro, veloz como el rayo y capaz de satisfacer todas las potenciales necesidades, sería tan onerosa que nunca llegaría a ser ampliamente utilizada.

Como Vinton G. Cerf señala en su artículo, los Estados Unidos caminan hacia la construcción e instalación del equipamiento necesario para una red versátil. Las compañías telefónicas y otros constructores de redes están tendiendo líneas de fibras ópticas capaces de transmitir miles de veces (y en última instancia, cientos de miles) más tráfico que las líneas de cobre tradicionales. Empieza a aflorar un estándar para un futuro servicio telefónico, llamado red digital de banda ancha de servicios integrados, que permitirá a los usuarios la transmisión de datos a velocidades de hasta 150 megabits por segundo. Es muy posible que hacia finales de nuestro decenio, ese país disponga de una red operativa con anchura de banda de un gigabit por segundo, capaz de transportar imágenes de vídeo cuya definición, nitidez y contraste pueda rivalizar con las fotografías de más alta calidad.

Versatilidad en el servicio significa también que los usuarios puedan conectar con la infraestructura cuando y donde quieran. Las redes inalámbricas basadas en sistemas celulares y vía satélite harán posible tal acceso, consintiendo que automóviles y viandantes formen parte de la infraestructura mundial de información.

El segundo componente de una adecuada infraestructura de información lo define un conjunto de servicios comunes disponibles para todos. Tendría que haber, como mínimo, unos cuantos recursos fundamentales y necesarios: directorios o guías electrónicas de usuarios y servicios, análogas de las actuales guías telefónicas de "páginas blancas" y "amarillas". Pero podrían existir recursos más ricos y universalmente compartidos: códigos y normativas fiscales de los estados o comunidades, datos censuales, los cuadros de los principales museos o los fondos de las bibliotecas nacionales.

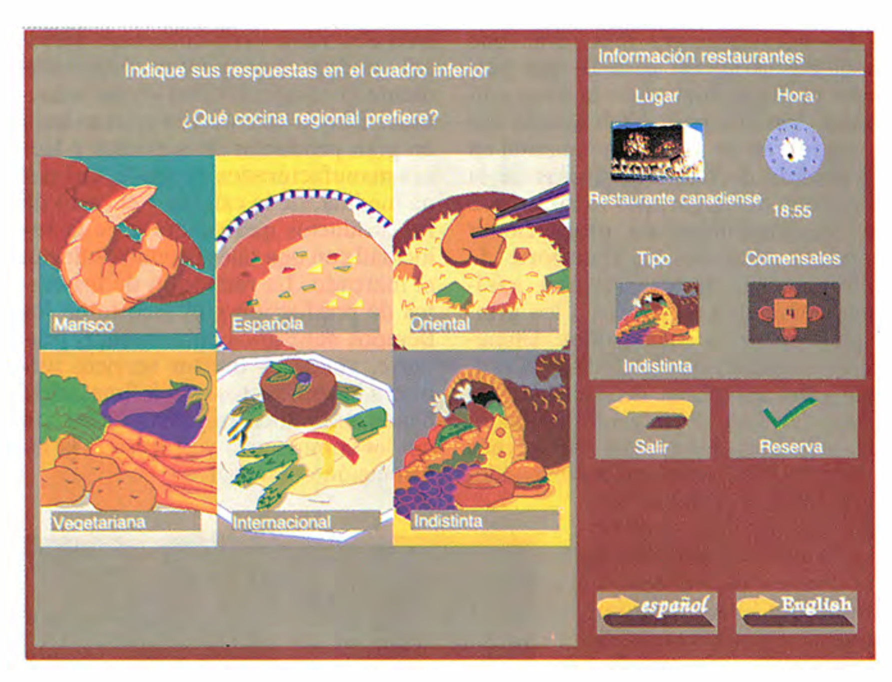
Para comprender el tercero y más importante ingrediente de una infraestructura de información —convenios comunes de comunicación— volvamos a imaginar los tropiezos de quienes tratasen de comunicarse telefónicamente mediante gruñidos. Cualesquiera dos interlocutores podrían, para entenderse entre sí, atribuir significados a unos cuantos gruñidos concretos. Por burdo que nos parezca, tal es el método utilizado en sistemas de ordenadores interconectados. Una compañía y sus proveedores, e incluso los empleados de las compañías grandes, establecen acuerdos relativos a los formatos específicos de los intercambios de informa-




**4. FABRICA SIN PAPEL de Raychem-Advanter, en Richmond, Columbia Británica. La fábrica, que produce pequeños lotes de adaptadores de aluminio de miles de tamaños, confía a ordenadores todos los pasos del proceso de manufactura. Un técnico, que recibe información "en directo" acerca de la tarea siguiente, se vale de un sistema óptico para medir las nuevas especificaciones de mecanizado, pudiendo así reajustar el torno en sólo 12 minutos (*arriba*). Mientras el torno, una máquina computarizada con control numérico, comienza a mecanizar la pieza (*abajo*), otro técnico puede también supervisar el trabajo merced a un flujo intermitente de datos de control de calidad.**

ción. Aunque este proceder pueda ser efectivo en grupos reducidos, resulta absurdo en una comunidad grande. Es más económico para todos unificar ciertos convenios, establecer un lenguaje común.

Una de las formas de creación de tal lenguaje para ordenadores consiste en utilizar lo que denomino formularios electrónicos, o brevemente, impresosE, equivalentes informáticos de los impresos y formularios utilizados para compras por correo. Tales impresosE serían instantáneamente reconocidos por cualquier ordenador de la red al que le fuera necesario hacerlo. Un puñado de ellos están ya en servicio. Hace algunos años, las grandes corporaciones se pusieron de acuerdo en utilizar un formato amplio llamado EDI (siglas inglesas de "intercambio electrónico de datos") para formalizar transacciones comerciales, como envíos de facturas o encargos de piezas. Los formularios electrónicos podrían ser cubiertos de viva voz, en lugar de tecleando en un ordenador. Existen ya unos cuantos prototipos. Las máquinas poseen, empero, un vocabulario muy reducido y es preciso además "educarlas" para que entiendan la voz de un operador concreto. Un sistema que se está experimentando en el MIT, llamado Sistema de Información de Viajes Aéreos (ATIS), facilita las reservas en líneas aéreas. Es capaz de entender el lenguaje hablado de cualquiera, sin necesidad de pausas de separación entre palabras, incluso con acento, con tal de que se quiera encargar un billete. De ordinario, las personas plantean sus preguntas con frases muy diversas; no obstante, al ordenador le basta encajarlas en uno de los tipos de un reducido número de categorías. Por ello, los formularios electrónicos orales son mucho más factibles que los sistemas de comprensión del habla de uso general.




5. **SE PODRAN EFECTUAR reservas "en directo" en los restaurantes de la Exposición Universal española de 1992 merced a una guía informatizada (desarrollada por la empresa IBM). Los usuarios seleccionan un tipo de cocina nacional. Un sistema de ordenadores enlazados por una red retransmiten entonces los restaurantes y menús que hagan al caso y se encargan también de las reservas. El sistema facilita además una tablilla de anuncios electrónica.**

Sean escritos o hablados, los formularios electrónicos pueden tender puentes entre distintos idiomas. Por ejemplo, a un australiano que desee encargar un par de zapatos italianos le bastaría cumplimentar un impresoE en inglés; éste sería después automáticamente traducido al correspondiente impresoE en italiano. Esta facilidad de traducción puede convertir a los impresosE en elementos claves en la unificación comercial de la Comunidad Económica Europea, proporcionando a los países miembros un medio sencillo para superar las barreras lingüísticas en las transacciones comerciales rutinarias.

Una posible alternativa a este "esperanto" constituido por los formularios electrónicos serían los "robots cognoscitivos" ("knowbots"), desarrollados por Cerf y Robert E. Kahn en la Corporación de Iniciativas de Investigación Nacional (CNRI). Se trata de programas diseñados por sus usuarios para viajar a través de una red, examinando y conociendo categorías afines de información con independencia del lenguaje o la forma en que se expresen.

Supongamos, por ejemplo, que deseásemos confeccionar una lista de todos los modelos de automóviles que tengan en los asientos traseros un espacio suficiente para las piernas de personas altas y que cuesten menos de dos millones de pesetas. Supongamos que a través de la infraestructura de información podemos disponer de los detalles de los diversos vehículos, pero que estos datos, facilitados por los fabricantes, se encuentran representados bajo diferentes formatos. Podríamos entonces soltarle la correa a uno de nuestros robots cognoscitivos, que se dedicaría a corretear por la red y a examinar los catálogos de datos. Nuestro robot comprendería lo suficiente acerca de las diferentes formas en que puede venir dada una misma clase de información como para poder extraer de cada consulta los detalles oportunos. A continuación habría de procesar la información y exponérnosla de manera inteligible y útil.

Dado que los robots cognoscitivos pueden ser confeccionados a la medida de las necesidades de las personas y que son tolerantes ante diversas representaciones de la información, parecen ser más deseables que los meros impresos electrónicos. Pero conforme les vamos pidiendo a estos programas que actúen con mayor inteligencia, más difícil resulta su construcción.

Aparte de la creación de una infraestructura idónea provista de los elementos ya citados, es forzoso desarrollar también equipos y programas informáticos capaces de conectar sin estridencias personas y máquinas con la infraestructura de información y, en consecuencia, a unas con otras. Lawrence G. Tesler nos expone aquí los esfuerzos de los proyectistas y diseñadores por transformar los equipos físicos en instrumentos tan cómodos de llevar como un reloj de pulsera. Y lo que es de la máxima importancia, hemos de reconsiderar la forma de concatenar a nivel cognitivo a personas y máquinas, de forma que se comuniquen entendimiento y no gruñidos. A tal objeto, Mark Weiser nos propone que busquemos vías de conseguir que los equipos pierdan su individualidad y se disuelvan e integren en el ambiente sin llamar la atención, aun cuando refuercen y amplíen nuestra comprensión de los acontecimientos y personas que nos rodean.

La infraestructura más vivaz que podemos construir será la que permita el florecimiento de la libre empresa. Las compañías telefónicas desempeñarán un papel fundamental en el tendido de las fibras físicas de la red y han de cargar, por lo tanto, con la responsabilidad de proporcionar servicios versátiles de transporte de información, ciertos servicios mínimos comunes y el acceso a los principales recursos compartidos. Empero ni las compañías telefónicas ni ningún otro organismo centralizado debería decidir qué convenios comunes de comunicaciones han de sernos ofrecidos; tal papel les corresponde, en cambio, a grupos con especiales intereses, que trabajen extramuros de los explotadores del sistema de transporte. A mayores, ninguna agencia central debería tener nada que decir sobre los servicios que serán ofrecidos a través de la infraestructura de información. Estos nuevos productos y servicios habrán de ser diseñados por los millones de personas que con sus ordenadores van a utilizar la red según sus propios planes y para sus fines específicos.

La infraestructura de información se parecerá entonces a una feria de pueblo, donde se compre y se venda multitud de bienes y servicios informáticos. Al igual que en los mercados tradicionales, no todas las transacciones serán monetarias. Algunas personas publicarán manuscritos gratuitos, otras se trabarán en debates y otras aún, siempre a través de la red, colaborarán de formas emprendedoras y originales.

Podemos empezar a imaginar cómo será este cambalache de información parándonos a pensar en el cambio operable en los servicios de manejo de información, cual es el caso del correo comercial. No hay razón para que gran parte del correo merezca ser tratado como si fuese un precioso bien material. De ordinario, el mensaje es más importante que el papel en que está impreso. No queremos decir con esto que en lugar de enviar rosas a una persona amada debamos remitirle un videoclip. Pero cuando el contenido es más importante que el medio, transportar el papel del mensaje constituye un despilfarro.

Un servicio veloz y versátil de correo electrónico con cobertura nacional podría incrementar tremendamente la competitividad de las industrias. El que una nación se convierta en gran productor de servicios y bienes manufacturados depende, en buena medida, de la calidad y el costo de los productos que genera y de la velocidad con que tales productos llegan al mercado. La reducción de los costos de producción y el recorte de los tiempos necesarios para diseñar, producir, vender y prestar servicio técnico a los productos está íntimamente ligado a la velocidad y flexibilidad con que es comunicada y procesada la información comercial.



**6. LIBROS DE TEXTO confeccionados a la medida podrían ayudar a los profesores a diseñar lecciones que atiendan a las necesidades específicas de sus alumnos. En esa línea se inscribe el grupo de programas Primis, de MacGraw-Hill, mostrado aquí.**

Además de la publicidad ordinaria, los ordenadores de los fabricantes pueden responder directamente a peticiones de información sobre productos de características o precios especiales, emitidas desde los ordenadores de potenciales clientes. Por ejemplo, la hipotética compradora de un coche podría interactuar previamente con los ordenadores de los fabricantes; podría, a través de la infraestructura, interesarse por ciertas características básicas (tracción a las cuatro ruedas), examinar los modelos que le pudieran convenir y seleccionar el vehículo de su preferencia especificando elementos optativos, tapicerías y colores.

Efectuada la venta, su encargo provocaría en la red una explosión de actividad informática. Las especificaciones del coche encargado se expandirían automáticamente en una cascada de órdenes de petición de los sistemas y subsistemas necesarios para el coche. Se generarían las instrucciones de temporización de la llegada de las piezas a la planta de montaje y se ordenaría a la planta que procediese a ensamblarlas. Los servicios de este tipo podrían llevar a la producción en masa de bienes individualizados. Las redes —hacen notar Thomas W. Malone y John F. Rockart— pueden capacitar a contratistas autónomos para integrarse de la noche a la mañana en una organización que atienda la demanda específica de un cliente... y disolverse luego con la misma rapidez.

El cambalache de información cambiará también nuestra forma de trabajar con colaboradores o socios distantes. Cada vez es mayor el número de teleconferencias que se desarrollan sobre estos enlaces de vídeo. Sin embargo, tales conferencias siguen exigiendo que todos los participantes se encuentren a la hora convenida en un lugar apropiado. Nuevas vías de tratamiento de tales colaboraciones libertarán a las personas de tener que intervenir en reuniones prefijadas. Lee Sproull y Sara Kiesler examinan en su ensayo las consecuencias que tales colaboraciones "virtuales" tendrán en el campo social y en la dirección de empresas.

A medida que la infraestructura va disolviendo las barreras temporales y geográficas, irán cobrando realidad otras oportunidades. El diagnóstico médico a distancia, y quizás, algún día, la telemanipulación, podrían acercar los especialistas a pacientes necesitados que se encuentren a miles de kilómetros de distancia. Se forjarán, por fin, los enlaces entre el hogar y el puesto de trabajo. Además de ofrecer a muchas personas las ventajas de trabajar en casa, la red abriría nuevas oportunidades profesionales a los padres de niños muy pequeños y a las personas con incapacidades físicas.

Dado que la infraestructura gestiona tan rápidamente el transporte y procesamiento de la información, es verosímil que los servicios que cobren gracias a ella máxima eficiencia sean los que sólo comporten información. El asesoramiento sobre problemas jurídicos, financieros o médicos concretos se tornará relativamente sencillo y económico.

Ya se está haciendo uso muy inten-

so de los ordenadores en el entrenamiento militar; hoy es cosa habitual utilizar simuladores de vuelo muy perfectos para la formación de pilotos y refinados juegos bélicos para uso de estrategas. Conforme los ordenadores concatenados por la red se vayan haciendo más potentes y menos caros, también las empresas privadas podrán permitirse tales métodos. Las compañías podrían formar a sus directivos enfrentándoles a situaciones problemáticas hipotéticas, como malestar del personal laboral, embotellamientos en la ejecución de un proyecto u otras dificultades. Compañías especializadas podrían ofrecer servicios de simulación de este tipo a través de la feria de información.

Aun habiendo sido mucho lo dicho y escrito sobre ordenadores y enseñanza, siguen estando por descubrir los métodos más eficaces de aplicación de la informática al aprendizaje. Como hace notar Alan C. Kay, los ordenadores no producen mágicas mejoras en las escuelas. Poco es lo que éstos aportan cuando se requiere que los alumnos aprendan algo de memoria. En cambio, al permitir a los estudiantes la interacción con valiosos recursos intelectuales (profesores de centros remotos, bibliotecas o museos), la infraestructura se convierte en aliado de la educación.



7. **"EXPLOSION ESTELAR #21" es una obra de Lillian Schwartz generada mediante ordenador. La artista ha plasmado en ella la idea de que "lo que el ordenador puede hacer está sujeto a lo que creemos que puede hacer por nosotros". Figura en *The Computer Artist's Handbook*.**

Estamos descubriendo, en casos concretos, técnicas que parecen ser eficaces. Los alumnos del MIT que participan en el Proyecto Athena aprenden francés a través de una simulación, en la que deben alquilar un piso en París. Una imagen móvil y de alta resolución les presenta una persona francoparlante que les hace preguntas y que los estudiantes han de responder. En última instancia, la infraestructura podría incluso emparejar a los estudiantes con tutores informáticos individualizados. Uno de tales tutores podría ayudar a su estudiante a analizar un determinado puente, si no a proyectarlo.

La infraestructura de información supondrá un gran impulso para el mundo del ocio y de la edición. Tendremos acceso fácil a millones de películas y espectáculos musicales, alquilándoselos a coleccionistas que ofrecerán sus bienes a través de la feria de información. Las cadenas de televisión, las estaciones de radio y las tiendas de alquiler de vídeos podrán perder algo de su monopolístico cariz cuando la feria de información conecte a cada proveedor con cada consumidor del país o del mundo.

Es improbable que los periódicos impresos lleguen a desaparecer, en vista de su reducido precio y su comodidad de uso. Pero la feria de información será también fuente de información oportuna —compuesta por texto, anuncios, música y vídeo— que cualquiera podrá proporcionar y estará al alcance de cualquiera. Estas montañas de información crearán a su vez oportunidades a una nueva estirpe de empresarios y publicistas electrónicos, atentos a filtrarla en busca de diamantes en bruto, que podrán después pulir y difundir electrónicamente. Así pues, aunque es posible que los editores no impriman sus obras en papel, la sustancia de la recopilación y difusión de información no sufrirá cambio. Nicholas P. Negroponte describe los productos y servicios afines que van a aparecer.

La feria de la información no sólo reforzará a sectores concretos de la economía, sino que, al concatenar sectores económicos antes desligados, emanarán nuevos y mayores beneficios colectivos. Pensemos, por ejemplo, en la verosímil evolución de la televisión de alta definición (TAD). En cuanto la infraestructura de información esté apuntalada, las cuestiones espinosas de cómo se va a desarrollar la TAD y quién la va a controlar se desvanecerán por sí solas. Lo único que hay que hacer, en cambio, es "ajustar los mandos" de un sistema versátil de transporte que conviertan a la TAD en una realidad, que conecten a cada hogar y cada despacho con cada cadena de televisión y cada alquiler de vídeo a través de la feria de información. La potencia visual de la TAD podría ser aprovechada para facilitar instrucciones interactivas de montaje, o para la resolución de problemas, para visitas virtuales a museos o para sesiones de simulación, beneficiando así a los proveedores de TAD y a los muchos servicios que utilizan vídeo de alta definición, amén del país que posea la cueva del tesoro que tal infraestructura supone.

¿Adónde va a llevarnos toda esta manía por la información? Cuando reflexionamos en la aplicación de la técnica para ensanchar las vías por las que discurre la vida de la gente, se nos ocurre que una infraestructura de información suficientemente perfecta podría ayudarnos de tres formas. Debería descargarnos de las tareas fastidiosas, aburridas y repetitivas relacionadas con el procesamiento y comunicación de información. La eficacia de los ordenadores sólo estará limitada por la extensión en que hayan sido diseñados para comprender la información que les llega.

En segundo lugar, la infraestructura de información debería contribuir a mejorar las formas de hacer que tenemos ahora, sea acelerando los procesos existentes o afinando su calidad. Pero aunque el flujo de información pueda ser muy veloz, los límites últimos de tales mejoras vienen impuestos por el trabajo físico que comportan, sin olvidar aquellas tareas sólo realizables por personas.

INVESTIGACION Y CIENCIA

y sus

NUMEROS MONOGRAFICOS

**Alimentación y agricultura**
Noviembre 1976

**Microelectrónica**
Noviembre 1977

**Evolución**
Noviembre 1978

**El cerebro**
Noviembre 1979

**Desarrollo económico**
Noviembre 1980

**Microbiología industrial**
Noviembre 1981

**La mecanización del trabajo**
Noviembre 1982

**Dinamismo terrestre**
Noviembre 1983

**La programación de los computadores**
Noviembre 1984

**Las moléculas de la vida**
Diciembre 1985

**Materiales para el desarrollo económico**
Diciembre 1986

**Avances en computación**
Diciembre 1987

**Lo que la ciencia sabe sobre el SIDA**
Diciembre 1988

**La gestión del planeta Tierra**
Noviembre 1989

**Energía para la Tierra**
Noviembre 1990

La tercera de las grandes formas en que ordenadores y redes van a afectar nuestras vidas será descerrajando las puertas que conducen a posibilidades inexploradas. Los vecindarios en que jugamos y las personas con las que hacemos negocios no tendrán ya que ser las más cercanas, sino las que nosotros elijamos.

Es indiscutible que ordenadores y redes van a democratizar las comunicaciones humanas. Prácticamente todo el mundo podrá exponer sus ideas, preocupaciones y demandas ante todos los demás. Tal libertad conllevará, sin duda, consecuencias sociológicas, entre las que se contará la formación de tribus electrónicas capaces de saltarse las distancias físicas.

La manipulación de vídeo, sonido y texto mediante ordenadores nos llevará a la contemplación de nuevas vistas. Contribuirá también a difuminar la divisoria entre las experiencias reales y las virtuales. Si hasta una vieja película en blanco y negro es capaz de encender los ánimos de un público espectador pasivo, ¿qué no podrán inspirar las películas interactivas y multisensorias del mañana?

Ahora bien, por influyentes que tales instrumentos sean, existen límites obvios a los cambios que puedan ejercer en nuestras vidas: ninguna dosis de realidad virtual puede satisfacer las auténticas necesidades de la gente. Ni tampoco pueden redes ni ordenadores aumentar la capacidad de absorción de información de los humanos, ni el número de personas con que un individuo puede interactuar, ni tampoco mejorar la calidad de las relaciones afectivas.

La infraestructura de información planteará problemas nada sencillos. ¿Quién será el responsable de servicios informáticos que se comportan incorrectamente? A mi parecer, las personas o compañías que obtengan beneficios en la provisión de tales servicios. ¿De qué forma dejaremos salva la intimidad de las personas en la red, protegiendo al propio tiempo a sus usuarios de delitos informáticos, o de virus y gusanos?

No faltan quienes temen que estas tecnologías nuevas tenderán a deshumanizarnos. En un planteamiento tecnofóbico extremo, hombres y mujeres, clavados ante las pantallas de sus ordenadores e interconectados por redes, pierden por completo su autonomía y quedan atrapados en cruel y solitario aislamiento. Considero implausibles tales angustias. Las personas no somos ni tan ingenuas ni tan carentes de instintos de autocontrol y conservación como para rendir nuestra humanidad a nuestros instrumentos.

Las infraestructuras de información evolucionarán primero en aquellos países industrializados que las necesiten y se las puedan permitir. Al igual que la red viaria nacional y de distribución eléctrica, estas infraestructuras de información estarán íntimamente imbricadas en el ser de una nación, y será difícil que otros puedan copiarlas o emularlas. Y al igual que las infraestructuras anteriores, darán a quienes las construyan ciertas ventajas económicas exclusivas.

En cuanto se encuentren instaladas infraestructuras de información en unos cuantos países, éstos las interconectará entre sí, como en el pasado lo han sido las redes de distribución eléctrica, las líneas aéreas y los tendidos telefónicos. El resultado será una infraestructura de información a escala planetaria que facilitará la compra y venta de servicios de información, la participación de todos en su conocimiento y el aprovechamiento general de su energía creativa.

Tanto las oportunidades como los problemas que muy posiblemente surjan serán diferentes, impredictibles y dignos de continuada vigilancia por nuestra parte. Es posible que la dificultad última y mayor consista en domeñar los agentes electrónicos que emerjan de tal estructura y ponerlos al servicio de la humanidad entera. Y, sin embargo, las oportunidades y las sombras que hemos de afrontar conforme tratamos de conseguir nuestros objetivos en la era de la información son coherentes con los que fue preciso afrontar durante las eras agrícola e industrial. La alternativa, cerrar la puerta al descubrimiento tecnológico con el fin de evitar tropiezos, le resulta inaceptable a la naturaleza inquisidora del espíritu humano.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

THE NATIONAL CHALLENGE IN COMPUTER SCIENCE AND TECHNOLOGY. Washington, D. C., Computer Science and Communications Board, 1988.

SILICON DREAMS: INFORMATION, MAN, AND MACHINE. Robert W. Lucky. St. Martin's Press, 1989.

BUILDING THE INFORMATION MARKETPLACE. Michael L. Dertouzos en *Technology Review*, págs. 29-40; 1991.

M.I.T. PROJECT ATHENA: A MODEL FOR DISTRIBUTED CAMPUS COMPUTING. George A. Champine. Digital Press, 1991.

# Redes

*Al crecer las aplicaciones de los ordenadores, el caudaloso flujo de datos que se mueve entre las máquinas requiere canales de capacidad y seguridad cada vez mayores*

Vinton G. Cerf

Una telaraña de vidrio cubre el globo. Los breves impulsos luminosos que fluyen de continuo a su través colocan a las personas cara a cara y, a las máquinas, procesador con procesador. Vivimos en la era de la información y las máquinas participan con los humanos en el intercambio y la creación de conocimiento.

Conforme han ido creciendo la variedad y el refinamiento de los aparatos de cómputo, la demanda de redes para transportar la información y el conocimiento generados también lo ha hecho. Tiene que haber vías para transmitir datos científicos y tecnológicos, pero también de muchos otros tipos, que van desde el puro entretenimiento hasta complejos procesos de simulación por ordenador. Los sistemas deben poder soportar velocidades de comunicación comprendidas entre unos pocos caracteres por segundo y miles de millones de ellos, rango que abarca desde las pulsaciones manuales de un teclado hasta los modelos meteorológicos animados de los supercomputadores, pasando por imágenes de alta resolución obtenidas por difracción de rayos X. Es más, los programas multifuncionales pueden necesitar comunicarse con otros congéneres; por ejemplo, un usuario que esté trabajando con un procesador de textos, una hoja de cálculo y un programa gráfico de autoedición puede desear establecer un enlace para colaborar con un colega que ejecute programas similares en un lugar distante.

¿Qué se necesita para soportar tan floreciente tráfico? ¿De qué estructuras se dispone ya y qué otras deben construirse? ¿Cómo debería modificarse la infraestructura existente, el conjunto de productos, servicios y procesos subyacentes a los distintos aspectos de las redes? ¿Cómo pueden evaluar los usuarios la calidad del servicio (velocidad, fidelidad y seguridad, por ejemplo)? ¿Y cómo responderá el sistema a sus decisiones? Preguntas como éstas son las que espolean la investigación y el desarrollo actuales sobre redes de ordenadores. La base comunicativa requerida por las aplicaciones múltiples las hace todavía más peliagudas: imagínese un número desconocido y arbitrario de programas que se ejecute en un número cualquiera de máquinas y que puedan necesitar comunicarse entre sí en instantes igualmente arbitrarios. Para atender tales exigencias, la tecnología de intercomunicación debe encontrar formas que permitan el intercambio simultáneo de información entre muchos ordenadores diferentes. Ha sido precisamente la distancia que hay entre asegurar el acceso bidireccional remoto a un ordenador único y

**1. CENTRO DE CONTROL DE RED de la zona de Filadelfia, desde donde la compañía AT&T gobierna el flujo de tráfico de datos, voz y ocio. Sirve como ejemplo de la clase de sistemas de comunicaciones que requerirán una mejora importante para poder responder a la ubicuidad de los ordenadores. Su uso creciente con fines mercantiles y profesionales, de consumo y para nuevas formas de ocio impone los cambios, al exigir del sistema que pueda manejar movimientos de tipo muy diverso, con rangos de frecuencias comprendidos entre los cientos de bits por segundo y los miles de millones y con exigencias variables de precisión y confidencialidad.**

VINTON G. CERF es vicepresidente, desde 1986, de la estadounidense Empresa Nacional de Iniciativas en Investigación (CNRI), donde tiene a su cargo los programas de investigación sobre Internet, interconexión de correo electrónico y sistema de biblioteca digital. Recibió su licenciatura en matemáticas en la Universidad de Stanford y su doctorado en ciencias de la computación por la Universidad de California en Los Angeles. Ha dado clases en Stanford y ha trabajado en organismos oficiales relacionados con la información y la defensa.

la tarea más difícil de permitir que las máquinas interactúen lo que ha determinado el desarrollo de la tecnología de redes de ordenadores.

Hay un requisito previo a cualquier forma exitosa de comunicación: la elección de un lenguaje común. En la intercomunicación de ordenadores es esencial que los programas participantes compartan unas mismas reglas para representar digitalmente la información y unos procedimientos para coordinar las vías comunicativas. Los ordenadores que quieran comunicarse deben coincidir en las normas de actuación básicas, del mismo modo que un español y una amiga china, por ejemplo, es de suponer que coincidirían en usar el servicio de correos y en escribir los textos en inglés al llegar la época de las felicitaciones navideñas.

Se llama protocolo de comunicaciones a un conjunto de reglas convencionales que determinan la forma de intercambio de información digital entre programas. Tales reglas pueden llegar a ser, y generalmente son, bastante complejas, razón por la cual suelen organizarse jerárquicamente, desde las normas más elementales, que ocupan los niveles inferiores, hasta las más elaboradas o las referentes a temas específicos, que se van superponiendo hacia la cúspide.

Elegidos ya un lenguaje y un grupo de reglas, el punto siguiente es cómo reducir al mínimo el número de elementos intermedios requeridos para enlazar un ordenador con los restantes. La forma más eficaz es la multiplexación: cada uno de los ordenadores está conectado a la red por un único enlace de alta capacidad y a tra-



vés de él envía su información [*véase la figura 2*]. El mensaje de cada ordenador está marcado o etiquetado de forma tal que la red pueda encaminarlo a su destino correcto. En términos abstractos, una red puede repartir información a todos sus miembros (difusión), a un grupo de ellos (multirreparto) o a un único receptor.

Tan variadas interacciones entre ordenadores suelen englobarse bajo la expresión computación distribuida, que abarca multitud de aplicaciones y protocolos. Un caso conocido de computación distribuida es el modelo cliente-servidor, conforme al cual un ordenador proporciona un servicio, al que otro computador accede como cliente. Por ejemplo, uno o más ordenadores podrían estar dedicados a almacenar los ficheros de información de todos los demás ordenadores. Diversas máquinas de la red pueden pedir a los "servidores de ficheros" que les envíen copias de los ficheros solicitados, mientras que otro conjunto de ordenadores podría estar asignado a dar servicios de impresión láser. Desde un punto de vista más amplio, cierto número de ordenadores podría dedicarse a proporcionar acceso a vastas cantidades de información catalogada en bases de datos interactivas.

Bajo el lema de robots cognoscitivos se explora en la actualidad la comunicación autónoma entre programas de forma todavía más general; se trata de programas que van de una máquina a otra, puede que reproduciéndose a sí mismos. (Knowbot es una marca registrada de la estadounidense Empresa Nacional de Iniciativas de Investigación.) Los Knowbots permiten el cómputo paralelo en diferentes emplazamientos y se comunican entre sí, con los diversos servidores de la red y con los usuarios. En el futuro, buena parte de la comunicación entre ordenadores podría consistir en interacciones entre tales ingenios, a los que habríamos encargado la tarea en un ambiente global de ordenadores y recursos informativos interconectados.

Hay dos formas de transportar la información por una red multiplexada, de cualquier tipo que ésta sea: la conmutación de circuitos y la conmutación de paquetes. La conmutación de circuitos, la técnica habitual que enlaza unos teléfonos con otros, es razonable cuando se necesita interconectar dos ordenadores durante un tiempo largo para transferir grandes cantidades de información. Las velocidades características van desde unos cuantos cientos de bits por segundo a unos cuantos millones. Las líneas directas especiales para transferencia de datos pueden operar a velocidades cercanas a los 45 Mbit/s (millones de bits por segundo), pero su coste sólo se justifica por una necesidad casi continua de transmitir datos entre ordenadores.

Los sistemas de circuitos conmutados presentan un serio inconveniente: no suelen ser satisfactorios en aquellos casos en que se requiere que varios programas, todos los cuales se ejecutan al tiempo en una máquina, se comuniquen con otros que, en cambio, se ejecutan en máquinas diferentes. En tales casos sería necesario ir reconfigurando sucesivamente el sistema de conmutación que uniese el primer ordenador con cada uno de los otros, proceso que ocupa una cantidad de tiempo desmesurada. Comparados con los escasos microsegundos (millonésimas de segundo) que le cuesta a un ordenador realizar un cómputo, el establecimiento y desconexión de circuitos duran cientos de milisegundos (milésimas de segundo) o más, tiempo suficiente para realizar miles de operaciones internas.

La conmutación de paquetes evita este problema; está diseñada expresamente para acomodarse a la espasmódica comunicación entre procesos múltiples, típica de los entornos de computación distribuidos. Los paquetes, o bloques de datos, generados en un ordenador se prefijan con cabeceras, que contienen información de ruta identificativa de los ordenadores de origen y destino. Otros pequeños ordenadores, llamados conmutadores de paquetes, se conectan formando la red. Cada uno de ellos examina toda cabecera que le llega y decide dónde reenviar el paquete asociado para acercarlo a su destino final. Cuando los sistemas de circuitos conmutados agotan su capacidad, resulta imposible establecer nuevos circuitos y no pueden aceptarse nuevos mensajes. En las mismas circunstancias, los sistemas de conmutación de paquetes, por el contrario, siguen aceptando mensajes, aunque el tráfico se demora a consecuencia de la necesidad de retenerlos temporalmente y volver a ponerlos en circulación.

Los sistemas de conmutación de paquetes ofrecen otro incentivo. En los de conmutación de circuitos, por lo general los ordenadores emisor y receptor tienen que poder manejar los datos a la misma velocidad, digamos 9600 bit/s (bits por segundo) o

**2. LAS REDES DE AREA AMPLIA transportan datos entre ordenadores por medio de enlaces de alta velocidad. Los paquetes de información generados por varios programas que se estén ejecutando en el mismo ordenador pueden enviarse multiplexados por el mismo acceso. La red puede entregar un mensaje de forma simultánea en varios destinos, en un proceso de reparto múltiple.**

64 Kbit/s (millares de bits por segundo). En los sistemas de conmutación de paquetes, por el contrario, es posible que el emisor transmita a velocidades muy altas, como 10 Mbit/s, mientras que el receptor sólo pueda recibir a otras muy bajas, quizá 1200 bit/s. Esta característica de acoplamiento automático de las velocidades de transmisión que tienen los sistemas de conmutación de paquetes permite que comuniquen entre sí ordenadores de tipos muy diferentes, como lo son los superordenadores y los ordenadores personales. Desde luego, cuando dos ordenadores muy dispares se comunican, el más rápido ha de reducir su velocidad media de transmisión para adaptarse al más lento.

Además, puesto que los conmutadores de paquetes son ordenadores programables, pueden detectar cuándo las líneas físicas que los unen han fallado y seleccionar rutas alternativas para enviar los paquetes sin molestar a los ordenadores de origen y destino. Un conmutador de circuitos puede detectar fallos parecidos, pero tiene que reconstruirse el circuito entero para poder superar el incidente.

### Capas de comunicación

| | |
|---|---|
| **Aplicación** | Información de detalle sobre los datos a intercambiar |
| **Presentación** | Normas arbitrarias para representar los datos |
| **Sesión** | Gestión de las conexiones entre programas |
| **Transporte** | Entrega (fiable o no) de las secuencias de paquetes |
| **Red** | Formato de los paquetes de datos individuales |
| **Enlace** | Acceso al medio de transmisión y control del mismo |
| **Físico** | Medio de transmisión (electrónico, óptico u otros) |

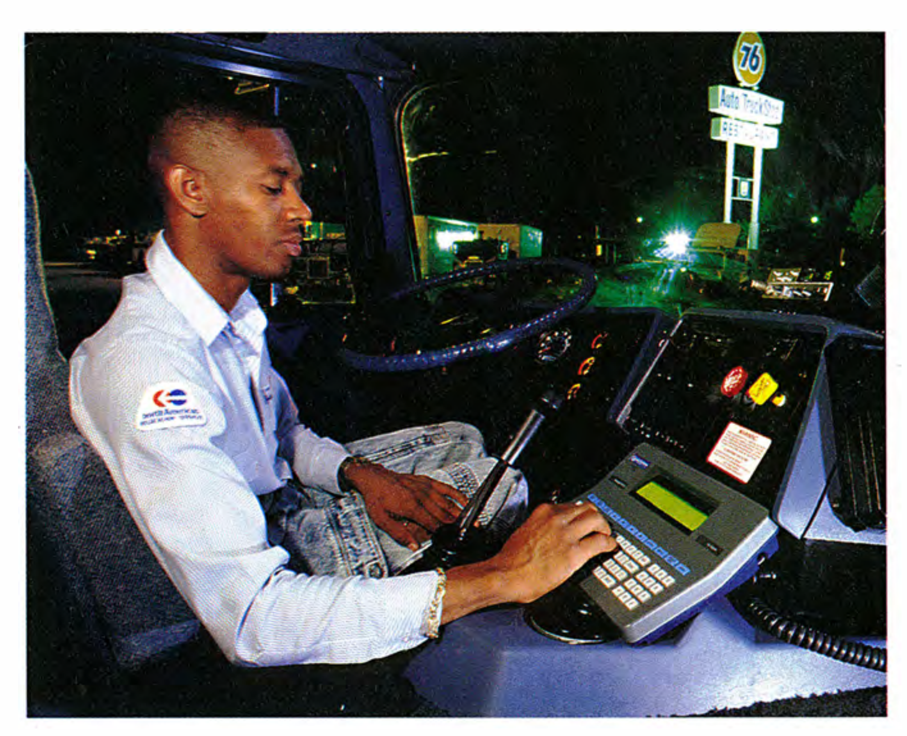
Aunque los sistemas de conmutación de paquetes permiten comunicaciones entre procesos que se ejecuten al tiempo en varios ordenadores diferentes, no están exentos de problemas. En algunos, los paquetes pueden seguir rutas múltiples y llegar en orden diferente del que fueron enviados. El ordenador receptor tiene que asegurarse de que se ha recuperado la secuencia original (este servicio lo presta a veces el conmutador de paquetes receptor). Otra causa de llegada desordenada puede ser la retransmisión de un paquete por haberse detectado un error.

La congestión constituye otra dificultad. El flujo de paquetes puede sobrepasar las capacidades de almacenamiento y redirección de los conmutadores, que, si tal sucede, se verán forzados a prescindir de los paquetes que no puedan ser almacenados o repartidos. Detectar y prevenir la congestión son temas importantes de la investigación relacionada con la conmutación de paquetes.

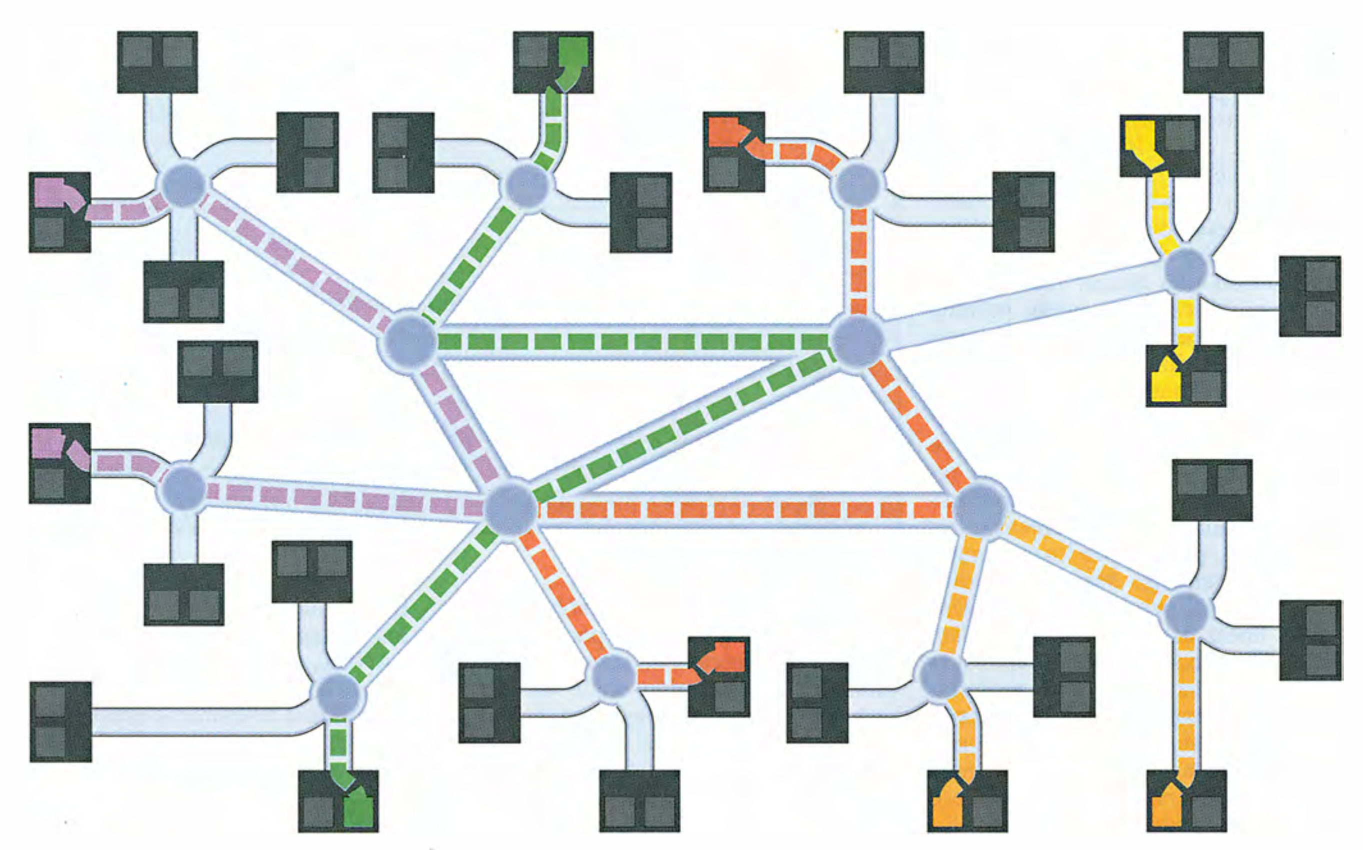
Para evitar las llegadas desordenadas, hay sistemas de conmutación de paquetes que ofrecen un servicio de circuitos virtuales: la red aparenta proporcionar un circuito directo para llevar la información de un ordenador a otro. En realidad no existe tal circuito; la entrega de los paquetes se hace en orden pero con un retraso variable. Por lo general las rutas de tráfico son fijas y sólo cambian si se produce un fallo. Cuando el tráfico por los circuitos virtuales es variable, porque la fuente genere los paquetes a ráfagas, la selección de rutas que minimicen la congestión sigue siendo ardua. El Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía (CCITT), rama de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT, organización internacional afiliada a las Naciones Unidas), ha elaborado una normativa sobre la conmutación de paquetes por circuitos virtuales.

Uno de los primeros sistemas de conmutación de paquetes se desarrolló en 1969 bajo contrato con la Agencia de la Defensa para Proyectos de Investigación Avanzada (DARPA) de los Estados Unidos. Bautizado ARPANET, el sistema usaba miniordenadores como conmutadores de paquetes y líneas telefónicas especiales a 50 Kbit/s para conectarlos. Se iniciaron proyectos similares en otros países como el Reino Unido (Laboratorio Nacional de Física) y Francia (Instituto Nacional para la Investigación en Informática y Automática). Desde entonces, se han implantado gran número de redes públicas y privadas de este tipo. Por lo general usan líneas troncales a 56 Kbit/s, 64 Kbit/s o entre 1,5 y 2 Mbit/s.

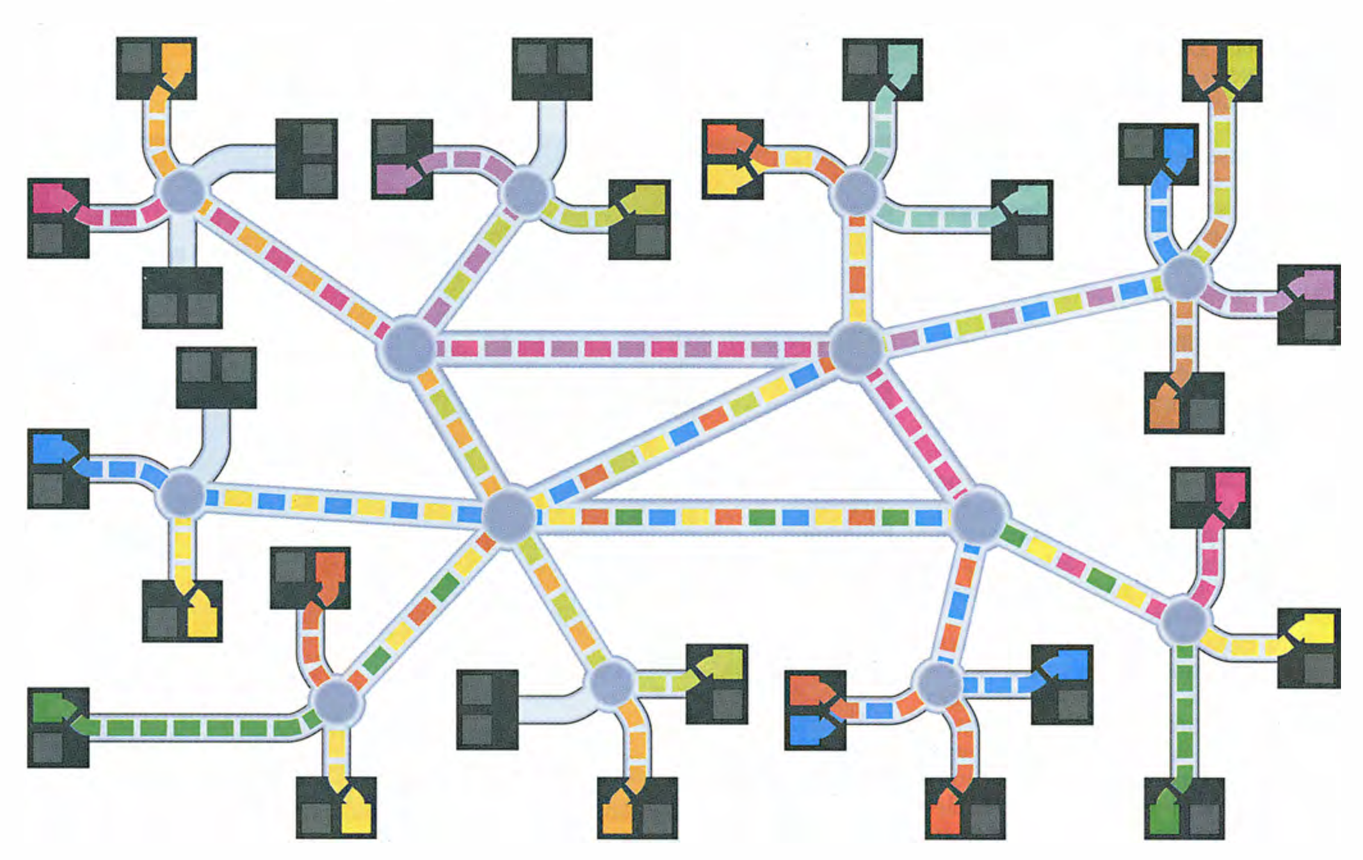
Al mismo tiempo que trabajaba en




**3. REDES INALAMBRICAS permitirán que las estaciones móviles se comuniquen con una red global. La fotografía muestra al conductor de un camión usando un sistema basado en satélites desarrollado por Qualcomm, Inc., de San Diego, California. Proporciona comunicación bidireccional instantánea entre el conductor y el centro de reparto, por todo el territorio de los Estados Unidos, lo que permite ajustar la recogida de mercancías para evitar los recorridos "de vacío".**



**4. LA CONMUTACION DE CIRCUITOS crea una ruta de extremo a extremo de la red para que fluyan los datos entre dos ordenadores. Esta técnica, cuya base está en los métodos usados para establecer llamadas telefónicas, facilita su transmisión. Su inconveniencia actual deriva de que el establecimiento de la conexión suele requerir más tiempo que el invertido por la transmisión propiamente dicha.**



**5. LA CONMUTACION DE PAQUETES añade códigos (*simbolizados en el diagrama por colores distintos*) a cada conjunto de datos enviados a través de la red, lo que simplifica su manejo. Como los códigos identifican la fuente y el destino de cada elemento, no hay necesidad de establecer conexiones punto a punto; gracias a ello, paquetes de ordenadores diferentes discurren sin problemas por los mismos enlaces.**

ARPANET, DARPA exploró métodos de conmutación de paquetes en sistemas móviles de radio y en sistemas síncronos por satélite. ARPANET y su contrapartida basada en satélites fueron tempranos ejemplos de redes de área amplia (WAN).

Los sistemas de conmutación de paquetes se usan con medios de transmisión muy diversos, como son las redes de área local, las de área metropolitana, las digitales de servicios integrados (RDSI) y redes que operan a velocidades de gigabit (mil millones de bits). Una de las primeras redes de área local que usó la conmutación de paquetes fue la desarrollada a comienzos de los años setenta por el Centro de Investigación de Xerox en Palo Alto. El sistema, llamado Ethernet, sigue usándose hoy. Una red Ethernet transmite las señales por medio de cable coaxial y a una distancia de uno o dos kilómetros, señales que son oídas por todos los receptores (en difusión). Inicialmente operaban a 3 Mbit/s, pero las actuales Ethernet funcionan a 10, por lo que necesitan 100 nanosegundos (milmillonésimas de segundo) para enviar un bit. Las señales eléctricas se propagan por el cable coaxial a la mitad de la velocidad de la luz, aproximadamente, o sea, a unos 150.000 kilómetros por segundo. En consecuencia, un bit puede propagarse por kilómetro y medio de red en 10 microsegundos.

Cada emisor de la red Ethernet escucha antes de transmitir. Si detecta la existencia de alguna otra transmisión, cesa su actividad y espera un intervalo de tiempo aleatorio antes de volver a intentarlo. Este método de compartición de canal recibe el nombre de acceso múltiple por exploración de portadora (CSMA). El diseño Ethernet incluía una ingeniosa prueba de transmisiones en contienda *durante* la propia transmisión, gracias a la cual, si tal estado de cosas se detectase al comienzo de la emisión, todos los emisores contendientes se pararían y esperarían durante un tiempo aleatorio, reduciendo así los nocivos efectos de la transmisión simultánea. Si el máximo alcance de una Ethernet se mantiene por debajo del kilómetro y medio, las colisiones y las transmisiones conflictivas se detectarán con rapidez y no la degradarán en demasía, pero otra mayor se verá mucho más afectada en tales circunstancias.

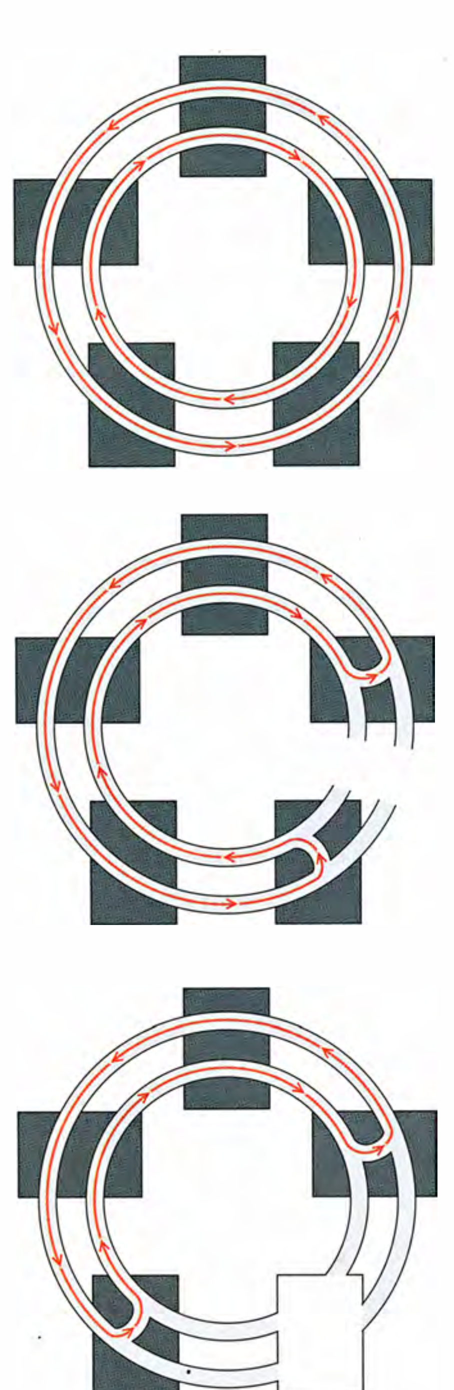
Al mismo tiempo que tomaba cuerpo Ethernet, se exploraba otra idea de interconexión: la de un anillo por el que se pasa de un ordenador a otro un grupito de bits como testigo. La unidad que disponga del testigo puede transmitir uno o más paquetes; los otros ordenadores deben esperar a recibirlo para poder transmitir. Los sistemas de testigo pueden enviar mensajes a todos los demás elementos de la red o a unos cuantos; suelen operar en el rango de 4 a 16 Mbit/s.

Los avances más recientes en la tecnología de paquetes toman como base la transferencia por fibra óptica. Operan a velocidades mayores y son más adecuadas para redes más extensas, de dimensión metropolitana. Tenemos un ejemplo en la interfaz de datos distribuidos por fibra (Fiber Distributed Data Interface, FDDI), que opera a 100 Mbit/s y usa el enfoque propio del testigo para compartir la capacidad de la fibra. El sistema se organiza como un doble anillo, por lo que, si una sección falla, puede recuperarse, y de forma rápida, el servicio íntegro. Los sistemas de testigo pueden alcanzar distancias mayores que los de difusión Ethernet, pero el precio que se paga es una mayor lentitud para acceder al anillo. Hay que vigilar que no se introduzca más de un testigo simultáneo en la red, aunque hay versiones que permiten la circulación de varios.

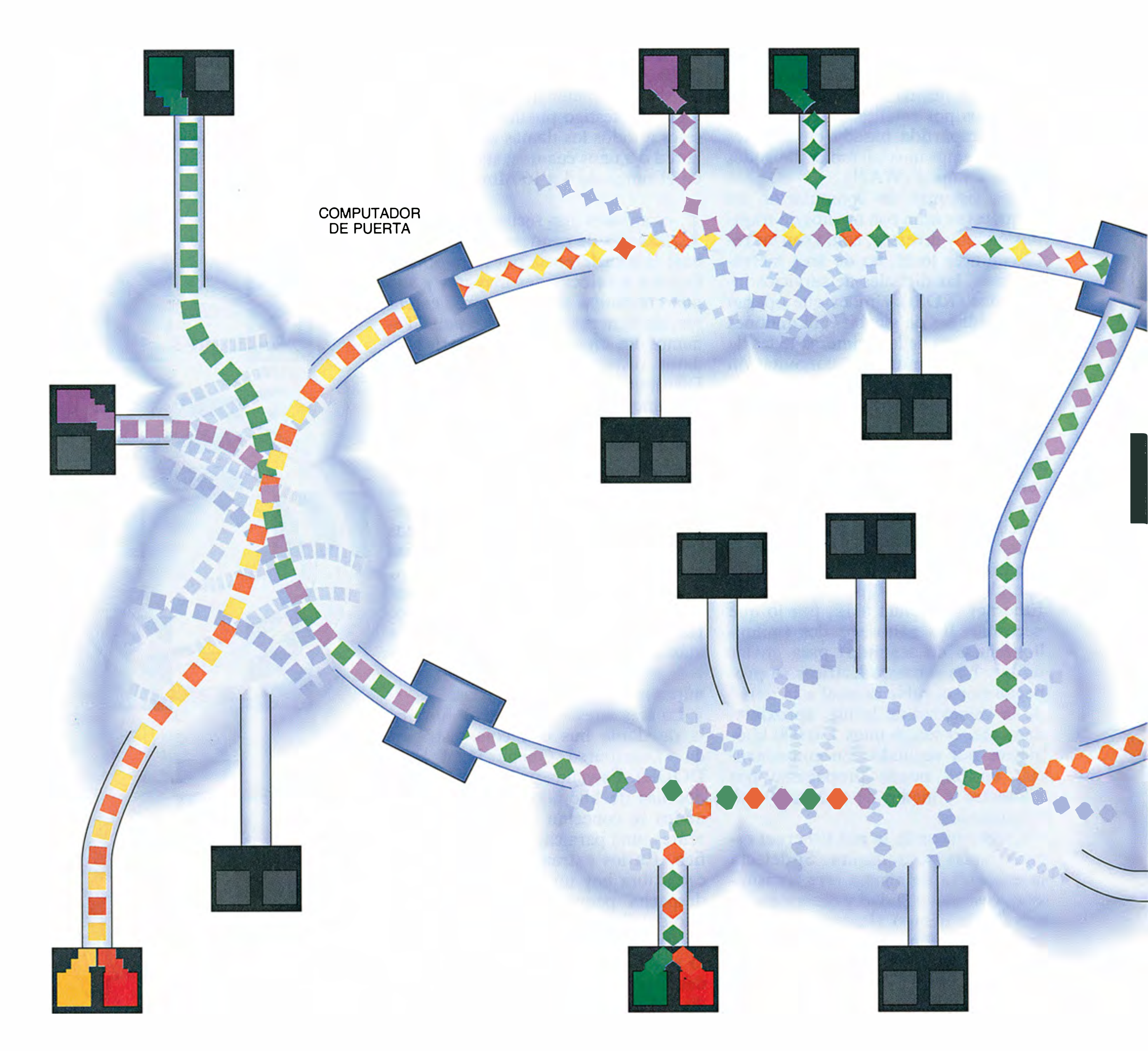
Lo más nuevo en redes de fibra es la de doble bus con cola distribuida (Distributed Queue Dual Bus, DQDB). Es válida para distancias de decenas de kilómetros y en ella los nodos se conectan a dos fibras diferentes, una para cada sentido del tráfico. En los extremos originarios de cada fibra hay un nodo especial que despacha paquetes vacíos. Cuando uno de ellos alcanza un nodo que tiene datos para enviar, éste lo rellena y lo encamina. Los nodos que tienen datos pendientes colocan un indicador de petición en los paquetes que fluyen por ambas fibras, con lo que los nodos precedentes se enteran de que otro subsiguiente quiere transmitir, tras de lo cual permiten que los paquetes vacíos que aparezcan lleguen hasta él. Cada uno lleva, pues, la cuenta de la cola de paquetes que quieren transmitir los que le siguen.

Esta técnica se desarrolló en la Universidad de Australia Occidental durante la segunda mitad de los ochenta y la están probando operadores locales de telecomunicaciones de los Estados Unidos y compañías telefónicas de otros países. Como se espera que funcione a velocidades de hasta 600 Mbit/s, puede que alcance una posición destacada en las redes de zonas metropolitanas.

En fin, también reciente es la técnica de interconexión por transbordo predeterminado (Frame Relay). Su naturaleza es parecida a la de los circuitos virtuales, salvo que éstos se determinan en el momento en que los abonados se conectan al sistema. No se realiza ninguna comprobación de errores mientras los paquetes están desplazándose de conmutador en conmutador; sólo se hacen en los extremos originario y destinatario, con



**6. ANILLO DUAL de una red de fibra óptica (*arriba*); garantiza el mantenimiento de las conexiones cuando hay problemas. Si se interrumpe alguna de las fibras (*centro*) o si deja de funcionar un nodo de la red (*abajo*), los nodos adyacentes pueden reconfigurar el sistema con rapidez y recuperar el funcionamiento normal.**



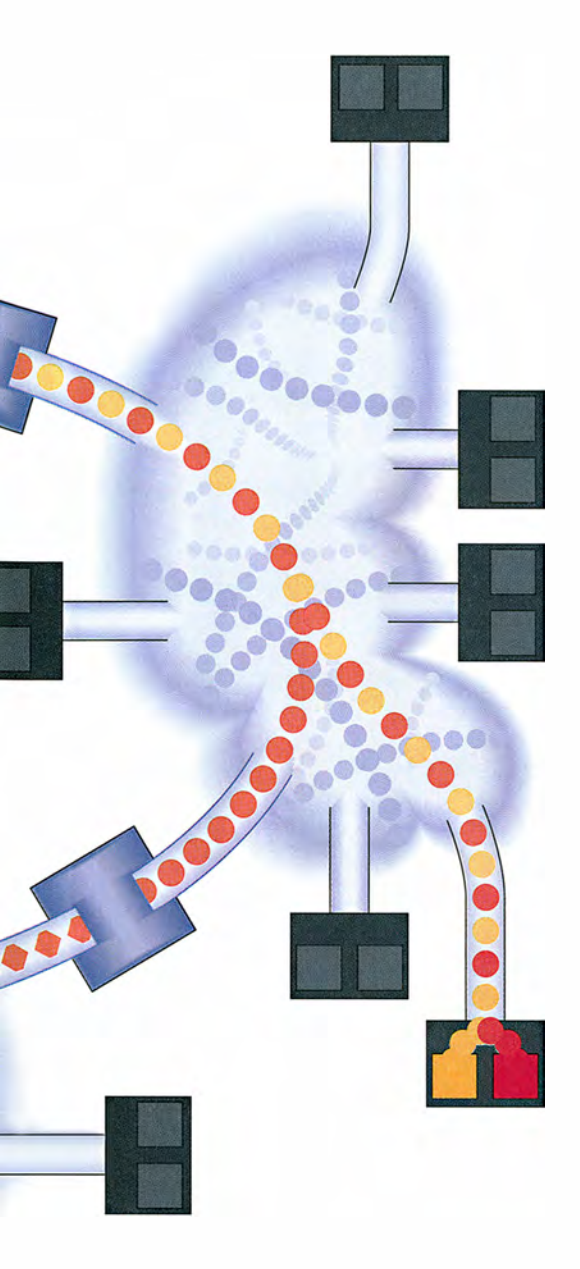

**7. INTERNET es una red de redes. Cada red subsidiaria se atiene a un conjunto mínimo de protocolos que permiten que los datos pasen sin dificultad entre los ordenadores a ella conectados, aunque las diversas redes integrantes difieran en los formatos de datos, velocidades de transmisión o algoritmos de encaminamiento que utilicen (representados de forma esquemática como trenes de figuras diferentes).**

eventual retransmisión, lo que reduce la demora en la red. A velocidades operativas comprendidas entre 64 Kbit/s y 45 Mbit/s, se prevé su uso en redes de área local, metropolitana y amplia.

Durante los últimos quince años, las compañías telefónicas han venido desarrollando tecnología para comunicaciones digitales de área amplia, la RDSI, que permitiría transportar voz y datos en forma digital por un esqueleto de circuitos digitales conmutados internacionales. La RDSI ofrece dos clases de acceso al medio de transmisión digital. El primero, la interfaz de velocidad básica (Basic Rate Interface, BRI), ofrece al abonado dos canales B, que operan a 64 Kbit/s cada uno, y un canal de datos y señalización D, a 16 Kbit/s. Este último se usa para indicar a la red dónde conectar cada uno de los canales B. El segundo tipo de acceso, la interfaz de velocidad principal, funciona de 1,5 a 2 Mbit/s y proporciona de 23 a 30 canales B.

Por desgracia, ni el servicio se ha ofertado con amplitud ni ha tenido una gran demanda. Una posible razón de esta fría acogida reside en el hecho de que puede utilizarse la red telefónica para realizar comunicaciones de datos a 19.200 bits por segundo merced a un dispositivo llamado modem (modulador-desmodulador). El modem convierte las señales digitales binarias en señales sonoras moduladas que pueden enviarse a cualquier punto de la red telefónica. La diferencia entre 19,2 y 64 Kbit/s es un factor de tres, pero no parece suficiente para superar la barrera que representa el coste de adquirir el equipo especial de acceso a la red RDSI.

Perspectivas interesantes abre la aparición de redes a velocidades de gigabit. Se están diseñando redes de área local que operan a unos mil millones de bits por segundo utilizando



conexiones paralelas entre ordenadores. Por ejemplo, un mazo de cable que contenga 64 conductores podría soportar una velocidad de datos efectiva de mil Mbit/s si cada uno de ellos transportara 16 Mbit/s, lo que entra dentro de la práctica cotidiana. La empresa norteamericana Ultra Network Technologies comercializa uno de estos sistemas para enlazar superordenadores.

En los últimos años, las tecnologías basadas en fibra óptica han ido saliendo de los laboratorios y han hecho su aparición en configuraciones experimentales de área amplia. Se diseñan para actuar a velocidades superiores a los mil millones de bits por segundo. Por lo que a la transmisión se refiere, la red óptica síncrona (SONET) permite una jerarquía de transmisión multiplexada a velocidades que van desde los 51 a los 2400 Mbit/s. SONET permite combinar o extraer flujos de datos de velocidades de transmisión distintas sin tener que desmenuzarlos previamente en sus componentes individuales.

El modo de transferencia asíncrono (Asynchronous Transfer Mode, ATM) constituye su complemento en el plano del manejo de paquetes, ya que conmuta breves paquetes, llamados células, a velocidades altísimas. Las células, de hasta 48 octetos de datos y cinco de control y direccionamiento (un octeto son ocho bits), pueden transportar cualquier tipo de información, incluidos la voz, y hasta el vídeo, digitalizados.

Concebidas como parte del diseño de un sistema RDSI de banda ancha (RDSI-BA), las tecnologías conmutadoras ATM y las de transmisión por fibra SONET pueden representar en el próximo siglo lo que las redes telefónicas son en el actual. RDSI-BA ofrece la promesa de una red única común para transferir y comunicar todo tipo de información, en lugar de redes especializadas para cada uno de ellos, según sean voz, datos o vídeo. Ya se están realizando trabajos experimentales, patrocinados por DARPA y la Fundación Nacional para la Ciencia, ambas estadounidenses, que exploran aplicaciones y arquitecturas para redes de área amplia a velocidades de gigabit.

Al mismo tiempo se trabaja en redes digitales inalámbricas, que permitirán a las estaciones móviles formar parte de la red global. Ya se dispone de redes de área local de este tipo capaces de transmitir a 10 Mbit/s dentro de una habitación o un edificio y algunos sistemas experimentales ofrecen anchos de banda mucho mayores.

La parte inalámbrica de la red global tendrá algún parecido con la telefonía celular móvil, en la medida en que ordenadores transportados en camiones, barcos o maletines serán capaces de mantener conexiones y de enviar y recibir datos donde quiera que vayan, pero la actual tecnología celular no es la adecuada. En primer lugar, los teléfonos celulares se basan en técnicas de difusión analógicas, por lo que su utilización para la transferencia de datos digitales sería intrínsecamente ineficaz. La información digital tendría que convertirse en analógica antes de su emisión, al igual que los ordenadores actuales emplean el modem para enviar sus datos por las líneas telefónicas ordinarias.

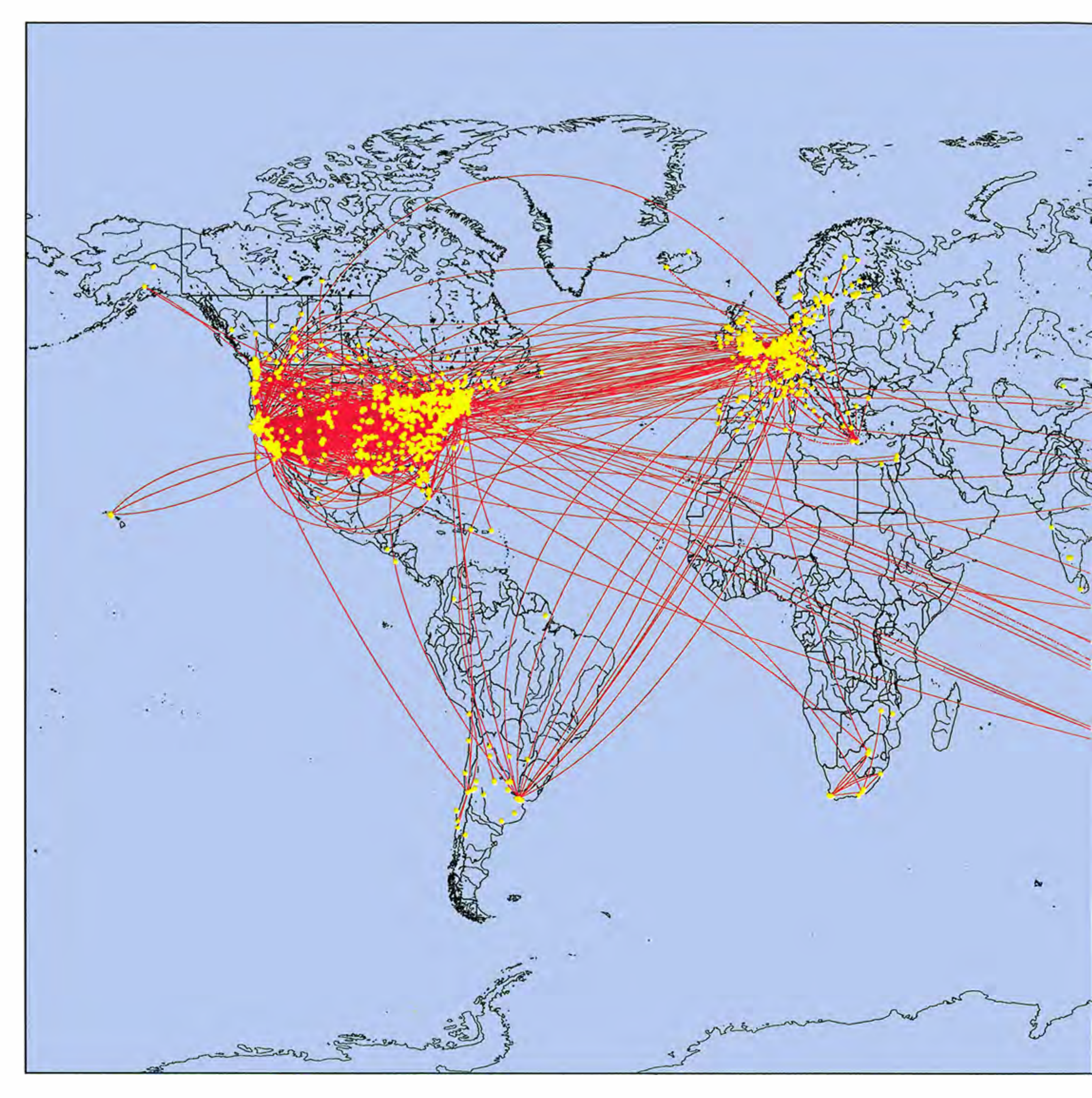
En segundo término, las redes celulares existentes ya son incapaces de atender todas las llamadas que desearían sus usuarios, por lo que no puede ni pensarse en añadirles cargas adicionales. Una "célula" telefónica, que cubre una zona de algunos kilómetros cuadrados, sólo puede manejar 59 enlaces a la vez. Unas cuantas docenas de modems celulares dejarían pronto fuera al resto de usuarios.

Por último, incluso en circunstancias óptimas, las frecuencias asignadas a la red de telefonía celular no pueden proporcionar velocidades de transmisión de datos superiores a 100 Kbit/s, lo que resulta insuficiente para muchas posibles aplicaciones móviles. El enlace por radio con las redes globales actuales y futuras requerirá técnicas nuevas, grandes inversiones de capital y normas que regulen la asignación de espacio suficiente para la transmisión de datos dentro del espectro electromagnético.

Aunque pueda no ser perceptible a primera vista, las tecnologías descritas pueden jerarquizarse en una arquitectura, base conceptual que ayuda al diseño de otras nuevas. Puesto que cualquier sistema de comunicación informático se basa en sus protocolos, no ha de sorprender que la estructura conceptual se corresponda con una jerarquía de protocolos. De abajo arriba, las etiquetas de las capas pueden ser: física, enlace, red, transporte, sesión, presentación y aplicación.

La capa física tiene que ver con el medio real de transmisión, ya sea electrónico, de radiofrecuencia u óptico, y con la forma en que en él se señalizan los bits. La capa de enlace determina cómo las secuencias de bits se encuadran en trenes de impulsos. La capa de red trata de la comunicación de paquetes y suele ser el nivel más bajo al que pueden comunicarse los programas de ordenador.

La capa de transporte es la primera en que se regulan el flujo total y la congestión entre los programas comunicantes. Algunas aplicaciones requieren que los datos se entreguen de forma secuencial y con gran fidelidad. A otras les basta con que se reciban con presteza, aunque se pierda alguna información. Por ejemplo, los paquetes de voz o de vídeo funcionan siempre que las demoras sean mínimas y el intervalo entre llegadas sucesivas pequeño. Si uno de ellos se perdiese, se produciría una pequeña laguna, pero, si el hecho es infrecuente, los oyentes o los espectadores casi no se darían cuenta del problema. Por el contrario, un fichero que contenga un



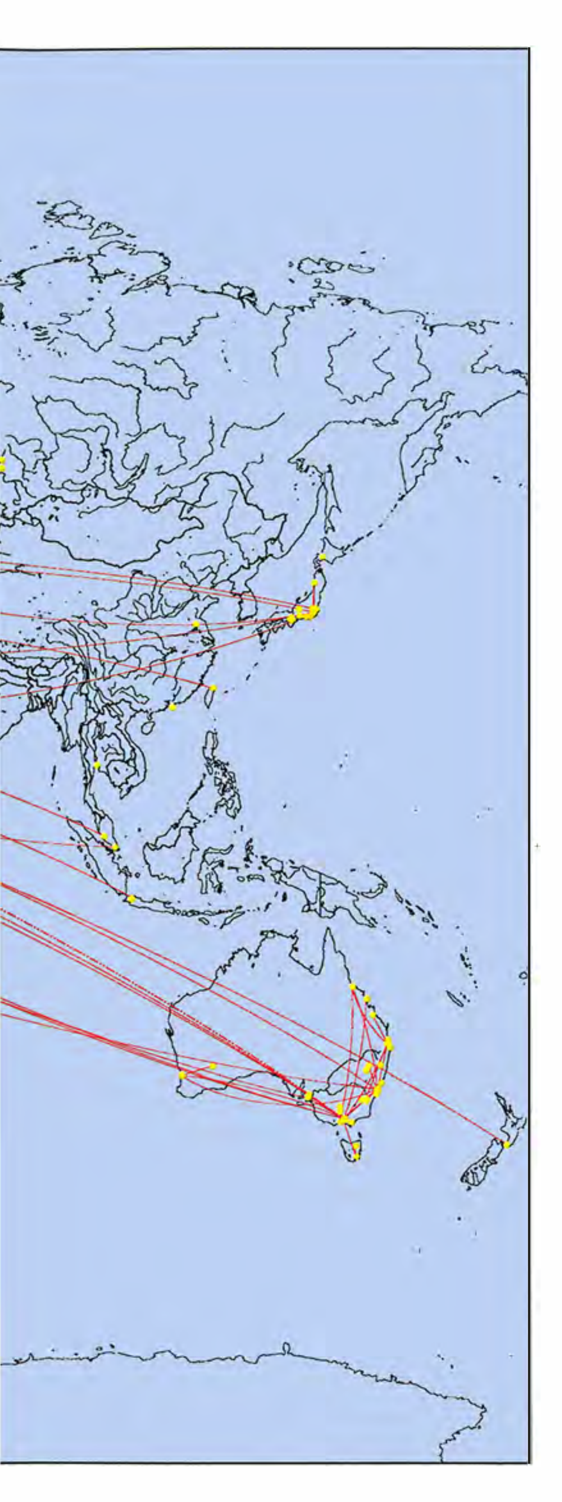
8. **USENET es una red mundial formada por miembros voluntarios. Tiene unos 37.000 nodos (la décima parte del tamaño de Internet). El acceso al correo electrónico y a otros servicios de red sólo requiere encontrar un terminal USENET que acepte proporcionar la conexión.**

programa de ordenador debe llegar intacto, por lo que resulta esencial una entrega ordenada y fiable.

Las capas situadas por encima de la de transporte están más próximas a las aplicaciones y a menudo reflejan sus necesidades. Las asociaciones entre programas comunicantes se establecen en la capa de sesión. Las convenciones relativas a la representación de la información intercambiada se determinan en la capa de presentación. Englobándolas a todas está la capa de gestión, puesto que la gestión abarca todos los aspectos de la problemática de red, desde el nivel más bajo hasta el más alto.

Casi todo lo dicho hasta aquí nos ha mantenido en las tres primeras capas de protocolos: física, de enlace y de red. Ahora nos trasladaremos a las superiores, entrando directamente en el importante concepto de conectar redes entre sí, tarea que recibe el nombre de interconexión de redes.

Fue también la DARPA quien primero se aventuró por este territorio, allá por el inicio de los años setenta. Perseguía formas de interconectar diferentes clases de redes de paquetes, de modo que los ordenadores que las utilizaban pudiesen comunicarse sin preocuparse de cuáles ni cuántas eran las redes participantes. Se desarrollaron procesadores especiales, que recibieron el nombre de pasarelas porque enlazaban dos o más redes y transferían los paquetes de una a la siguiente. Las pasarelas eran también las encargadas de subsanar las diferencias existentes entre unas y otras redes, relacionadas con la velocidad,



la longitud máxima de los paquetes o las tasas de error.

En un sistema de interconexión de redes, se define un formato de paquete estándar y cada usuario recibe un código identificativo (una "dirección"). Cuando tiene que enviar información, el ordenador crea paquetes que incluyen las direcciones de fuente y destino y los encapsula en el formato exigido por la red subyacente. Luego los encamina a la pasarela adecuada o al ordenador central para su procesamiento posterior, serie de operaciones que se repite hasta que alcanzan su destino final.

Estas estructuras de redes plantean muchos de los problemas que se presentan en las redes ordinarias. Las pasarelas necesitan algoritmos de encaminamiento para poder determinar cuáles son los elementos relevantes de la topología general y decidir el envío de los paquetes circulantes. El sistema tiene que poder acomodar modificaciones topológicas para resolver fallos de las redes y colisiones en las pasarelas. Al igual que en las redes integrantes, hay que gobernar los flujos de tráfico y las congestiones, con las dificultades consiguientes.

Un aspecto crítico del efervescente mundo de las telecomunicaciones modernas es la determinación de las modificaciones que habrá que introducir en las arquitecturas de interconexión desarrolladas durante los últimos quince años para adaptarlas al nivel tecnológico de los noventa, el de los incipientes sistemas ATM, RDSI-BA y SONET funcionando a velocidades del orden del gigabit. En los Estados Unidos, DARPA y la Fundación Nacional para la Ciencia están financiando un importante programa para afrontar este problema, por la vía de realizar aplicaciones experimentales que requieran estas superredes de alta velocidad. Se están usando simulaciones de visualización de imágenes en superordenadores, cálculos realizados en múltiples superordenadores y generación de imágenes geofísicas y médicas para probar los nuevos diseños de protocolos, arquitecturas alternativas y entornos de programación.

Hay ya patentadas varias técnicas de interconexión de redes. Así las desarrolladas por Xerox (Xerox Network System), Digital Equipment Corporation (arquitectura de red DECnet o DNA) e IBM (arquitectura de sistemas en red o SAA e interconexión de sistemas en red). DARPA inició uno de los mayores sistemas de red abiertos, el denominado Internet. Opera en 26 países, comprende más de 5000 redes y atiende a varios millones de usuarios de más de 300.000 ordenadores en varios miles de organizaciones. En los Estados Unidos, Internet recibe un fuerte apoyo de DARPA, la Fundación Nacional para la Ciencia, la NASA y el Departamento de la Energía.

Gestionar redes de ordenadores complejas y a gran escala o grupos de redes de ordenadores es tarea ardua. Conforme aumenta el número de dispositivos integrantes, la complejidad crece de forma exponencial. La detección y la reparación de los fallos de la programación, de las máquinas y de los enlaces de comunicaciones es tremendamente difícil. Como puede imaginarse, la gestión de redes es uno de los principales temas de investigación y desarrollo en este campo.

Asunto decisivo de la administración de redes es el de la seguridad global del sistema. Hay que realizar una identificación satisfactoria de los usuarios remotos, lo que suele hacerse por medio de una contraseña o palabra de paso. Es un enfoque endeble, en parte porque no se eligen bien las contraseñas (que muchas veces son apellidos, nombres de cónyuges, números de matrícula o fechas de nacimiento) y también porque se difunden a través de la red desprotegidas, lo que permite su conocimiento por quienes disponen de la competencia técnica adecuada.

Esta necesidad de seguridad y, sobre todo, de autenticidad se plantea en todos los estratos de la jerarquía de protocolos. En el superior, los usuarios pueden querer asegurarse de que el correo electrónico recibido proviene de la persona que parece ser su emisor; los operadores pueden necesitar saber, con fines contables, qué sistemas están utilizando recursos o, para gestionar el acceso, cuáles están activos. En las transacciones financieras resulta decisivo asegurar la integridad y la no manipulación del mensaje. Se quiere estar seguro, sin duda, de que un ingreso no resulta subrepticiamente desviado hacia otra cuenta. En las transacciones comerciales es conveniente que no sea fácil repudiar las órdenes confirmadas.

En los más bajos, las pasarelas y los encaminadores necesitan asegurarse de que las instrucciones de control provienen de las estaciones de gestión de red autorizadas. Otras veces la información circulante tiene que mantener su confidencialidad, como les sucede a los informes médicos y al correo electrónico. En general, es esencial que el tránsito por la red se haga con garantías de integridad.

Muchas veces, la criptografía digital puede satisfacer estos requisitos. El Instituto Nacional de Normalización Industrial financió el desarrollo de una norma para la encriptación de datos (Data Encryption Standard, DES) hacia la mitad de los años setenta. Está destinada a usos comerciales y gubernamentales, que no requieren el grado de cifrado de los militares. Por la misma época se desarrolló el concepto de clave criptográfica pública.

Los métodos criptográficos habituales utilizan una clave única para cifrar y descifrar los mensajes intercambiados por partes que quieren mantener su comunicación restringida, con garantía de que sólo quien disponga de la clave podrá participar en ella. El algoritmo DES pertenece

# BIBLIOTECA SCIENTIFIC AMERICAN




## LOS SONIDOS DE LA MUSICA

John R. Pierce

**Un volumen de 22 × 23,5 cm y 242 páginas.**
**Profusamente ilustrado.**
**Incluye 2 discos de 33 r.p.m.**

En *Los sonidos de la música,* John Pierce transmite al lector su alegría por su descubrimiento de que la física y las matemáticas pueden ser fuentes para la comprensión de por qué oímos la música como la oímos. Hace un repaso a la investigación científica de la música, desde los descubrimientos clásicos de Pitágoras y otros filósofos griegos, a través de los descubrimientos fundamentales de Galileo y sus contemporáneos y los progresos realizados en el siglo XIX por Helmholtz, llegando a los trabajos actuales y los experimentos realizados por científicos, psicólogos y compositores destacados. El libro, profusamente ilustrado, ofrece también una visión fascinante sobre las fronteras de la música contemporánea y analiza el trabajo de muchos compositores actuales.

Este es el primer libro de acústica para lectores no especializados escrito bajo el punto de vista de la música electrónica y de la música generada por ordenadores. John Pierce es una persona particularmente indicada para contar esta historia, dado que fue un miembro destacado del equipo de los laboratorios Bell Telephone que, ya hace más de veinte años, estableció las técnicas básicas con las cuales los ordenadores generan sonidos musicales, hoy ya familiares gracias a las bandas sonoras de «La Guerra de las Galaxias» y otras películas. Se presentan ejemplos de sonidos electrónicos y generados por ordenador en dos discos de 33 rpm que se incluyen en el libro.

John R. Pierce se doctoró en ingeniería eléctrica en el Instituto de Tecnología de California, donde ha vuelto como catedrático de la facultad de ingeniería, después de una carrera distinguida y fructífera en los laboratorios Bell Telephone. Pierce es miembro de la Academia Nacional de Ciencias de los EE.UU. y de la Real Academia de Ciencias de Suecia. Le fue concedida la Medalla Nacional de las Ciencias por el Presidente de los EE.UU. en 1963.

Por sus aportaciones a los campos de la información y las comunicaciones, J. R. Pierce ha recibido el Premio Japón 1985, importante galardón internacional que se concede por vez primera.



*Prensa Científica*


a este tipo: cualquiera que posea la clave puede cifrar y descifrar los mensajes. Son sistemas de cifra simétricos; todas las partes usan la misma clave y el mismo algoritmo sirve a la vez para cifrar y descifrar.

Los sistemas de clave públicos, por el contrario, usan un par de claves. Los mensajes se cifran con una clave y sólo pueden ser descifrados con la otra. Es indiferente qué clave se use para el cifrado; mas, para descifrar, ha de utilizarse la segunda. Esta clase de criptografía se designa a veces como sistema de cifrado asimétrico.

Quien use un sistema de cifrado público mantendrá una clave secreta y hará pública la otra; de ahí la denominación. Para transmitir un mensaje confidencial a un receptor, el emisor pone en cifra ("encripta") el mensaje mediante la clave pública del receptor. Sólo éste podrá descifrarlo, puesto que la única forma de hacerlo es con la clave secreta.

Una variante interesante la constituye la firma digital. Para "firmar" un mensaje, el emisor lo cifra con la clave secreta. El receptor recibe el mensaje cifrado junto con el nombre del emisor, busca la clave pública de éste y la usa para descifrarlo. Si la operación tiene éxito, sabe que el mensaje provenía del emisor, puesto que únicamente él tiene la clave correcta que replica la pública. Resulta claro el partido que puede sacarse a las firmas digitales en diversos tipos de transacciones (intercambios de gestión de red incluidos) en los que es importante verificar la fuente del mensaje. Todavía lo es más que posibiliten relaciones que, de otra forma, estarían muy expuestas al uso indebido.

Los grandes sistemas de redes de ordenadores, que operan en muchos países y tienen un gran número de programas ejecutándose al mismo tiempo, son claramente vulnerables. La investigación está proporcionando técnicas para disminuir el riesgo. Estamos en peligro, pero también estamos sobre aviso y, cada vez más, protegidos por métodos poderosos.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA


THE MATRIX: COMPUTER NETWORKS AND CONFERENCING SYSTEMS WORLDWIDE. John S. Quarterman. Digital Press, 1989.

COMPUTERS AT RISK: SAFE COMPUTING IN THE INFORMATION AGE. National Research Council System Security Study Committee Staff. National Academy Press, 1990.

COMPUTERS UNDER ATTACK: INTRUDERS, WORMS AND VIRUSES. Dirigido por Peter J. Denning. Addison-Wesley, 1990.

# Informática de redes para nuestra década

*Los computadores, que empezaron siendo máquinas incómodas, servidas por una elite de técnicos, evolucionaron hasta convertirse en útiles accesibles y manejables. La próxima generación colaborará activamente con el usuario*

Lawrence G. Tesler

En la película del año setenta *Coloso: el proyecto Forbin*, un computador llegaba a dominar el mundo desde las cavernas de una montaña hueca, en donde armarios de luces destellantes, preñados de cintas magnéticas, eran atendidos por un ejército de programadores en bata blanca.

El estereotipo cambió entre 1977 y 1982, con la entrada, en la casa y la oficina, del ordenador personal. La nueva realidad quedó reflejada poco después en el cine: *Wall Street*, película de 1987, presentaba ahora una máquina cuyo tamaño se había achicado hasta descansar en una mesa y, en vez de luces y cintas, tenía un tubo de rayos catódicos, un teclado y un ratón (es decir, una bola deslizante que manipula un puntero en la pantalla). Había desaparecido la cohorte de programadores, sustituida por un solo usuario —en este caso, un banquero inversor— para quien el computador era una herramienta, no una vocación.

Las películas de nuestra década representarán las máquinas como objetos poco llamativos. Tendrán pantallas delgadas y planas, micrófonos o punteros en vez de teclados y transmisores sin hilos sustituyendo a los modems con cables. Cambiará su relación con el usuario: la solitaria herramienta de productividad de antaño pasará a ser activo colaborador en la adquisición, uso y creación de información, además de un comodín para la interacción humana. Ni que decir tiene que las previsiones que formularé responden a un opinión personal, pero las aceptan la mayoría de los profesionales de la informática.

Se da por supuesto que el computador desempeñará un papel mucho más activo en cuanto empiece a colaborar con el usuario. El agente colaborador ni siquiera habrá de li-

LAWRENCE G. TESLER es vicepresidente de productos avanzados de la empresa Apple Computer, en la que ha venido cumpliendo distintas misiones, desde la organización de grupos de investigación hasta el desarrollo de programas e interfases para el ordenador Lisa, pasando por otras innovaciones en los modelos de Apple. No ha abandonado sus relaciones con la Universidad de Stanford, donde se formó y donde dirigió una línea de investigación sobre modelos cognitivos y procesamiento de los lenguajes naturales.

**Los cuatro paradigmas de la informática**

| | LOTES | TIEMPO-COMPARTIDO | SOBREMESA | RED |
|---|---|---|---|---|
| DECADA | AÑOS 60 | AÑOS 70 | AÑOS 80 | AÑOS 90 |
| TECNOLOGIA | INTEGRACION A ESCALA MEDIA | INTEGRACION A GRAN ESCALA | MACROESCALA | ESCALA ENORME (ULTRAMAGNA) |
| LOCALIZACION | SALA DEL COMPUTADOR | SALA DE TERMINALES | EN LA MESA | MOVIL |
| USUARIOS | EXPERTOS | ESPECIALISTAS | INDIVIDUOS | GRUPOS |
| ESTATUTO DEL USUARIO | SUBOR-DINACION | DEPENDENCIA | INDE-PENDENCIA | LIBERTAD |
| DATOS | ALFA-NUMERICOS | TEXTO, VECTORES | FUENTES, GRAFICOS | ESCRITOS, VOZ |
| OBJETIVO | CALCULO | ACCESO | PRESENTAR | COMUNICAR |
| ACTIVIDAD DEL USUARIO | PERFORAR Y SOMETER | RECORDAR Y TECLEAR (INTER-ACCIONAR) | VER Y APUNTAR (DIRIGIR) | PEDIR Y DECIR (DELEGAR) |
| OPERACION | PROCESAR | EDITAR | COMPOSICION | ORQUESTAR |
| INTERCONEXION | PERIFERICOS | TERMINALES | EN LA MESA | EN LA MANO |
| APLICACIONES | A LA MEDIDA | ESTANDAR | GENERICAS | COMPONENTES |
| LENGUAJES | COBOL, FORTRAN | PL/I, BASIC | PASCAL, C | ORIENTADOS AL OBJETO |

mitarse a un dispositivo en particular. Podría moverse de la palma de la mano a la base de datos de un ordenador central y luego a una mesa. En su traslado de la oficina a una reunión externa, el usuario podría dictar órdenes del tenor siguiente a un agente electrónico:

- ¿Qué día de febrero grabé una conversación telefónica con Saturio?
- Consígueme una cita en una tienda de neumáticos que hay en el camino a casa y que está abierta después de las 6 de la tarde.
- Reparte este documento entre el equipo y avísame cuando lo hayan leído.
- Si se publica algún artículo sobre fullerenos, pide una copia para mi biblioteca.

Los programadores harán parecer inteligentes a los agentes dotándolos de ciertas capacidades de razonamiento. Los agentes consultarán bases de datos y, si no saben qué hacer, pedirán la guía del usuario. Serán bastante parecidos a asistentes humanos, excepto que carecerán de intuición y de la capacidad de improvisar. No obstante, serán capaces de identificar patrones recurrentes en el trabajo del usuario, inspeccionar los mensajes recibidos y ocuparse de los plazos. Armados con esta información, los agentes anticiparán las necesidades, antes de que el usuario las exprese o llegue a adquirir conciencia de ellas. Un computador móvil podría ponerse al corriente con su usuario durante el desayuno:

- Me preguntó cuándo grabó su última conversación telefónica con Saturio. Fue el 27 de febrero. ¿Le gustaría escucharla?
- Me pasó una nota la semana pasada en la que decía que las ruedas del coche estaban desinfladas. Le tienen preparados otros neumáticos esta noche.
- Laszlo ha rechazado los cuatro últimos documentos que le envió sin haberlos leído.
- Me pidió artículos sobre los fullerenos. ¿Debería suponer que quiere todo lo que salga sobre microagregados orgánicos?

Si bien las preguntas y respuestas están aquí representadas como frases impresas en castellano, caben muchas formas más. Podrían estar mecanografiadas o dictadas de viva voz, en correcta forma gramatical o estereotipadas en lenguajes informáticos rígidos (tal como SQL, un lenguaje diseñado para gestión de base de datos). Podrían especificarse seleccionando entre una lista de opciones y rellenando un formulario o proporcionando breves respuestas a una serie de preguntas presentadas por el agente.

Los cambios operados en la misión del computador —desde oráculo ermitaño hasta instrumento personal y asistente activo— han llegado en oleadas o cambios paradigmáticos, por tomarle prestado el vocablo a Thomas S. Kuhn, experto en revoluciones de las doctrinas científicas. Los paradigmas en la informática llegaron de la mano del persistente refinamiento de múltiples técnicas, sin olvidarnos de la maduración del mercado. Se producen, diríase, con periodicidad decenal.

El paradigma original del compu-



El IBM 360, sobre 1964, procesaba lotes secuenciales.



El DECsystem-10, 1975, proporcionaba tiempo compartido.



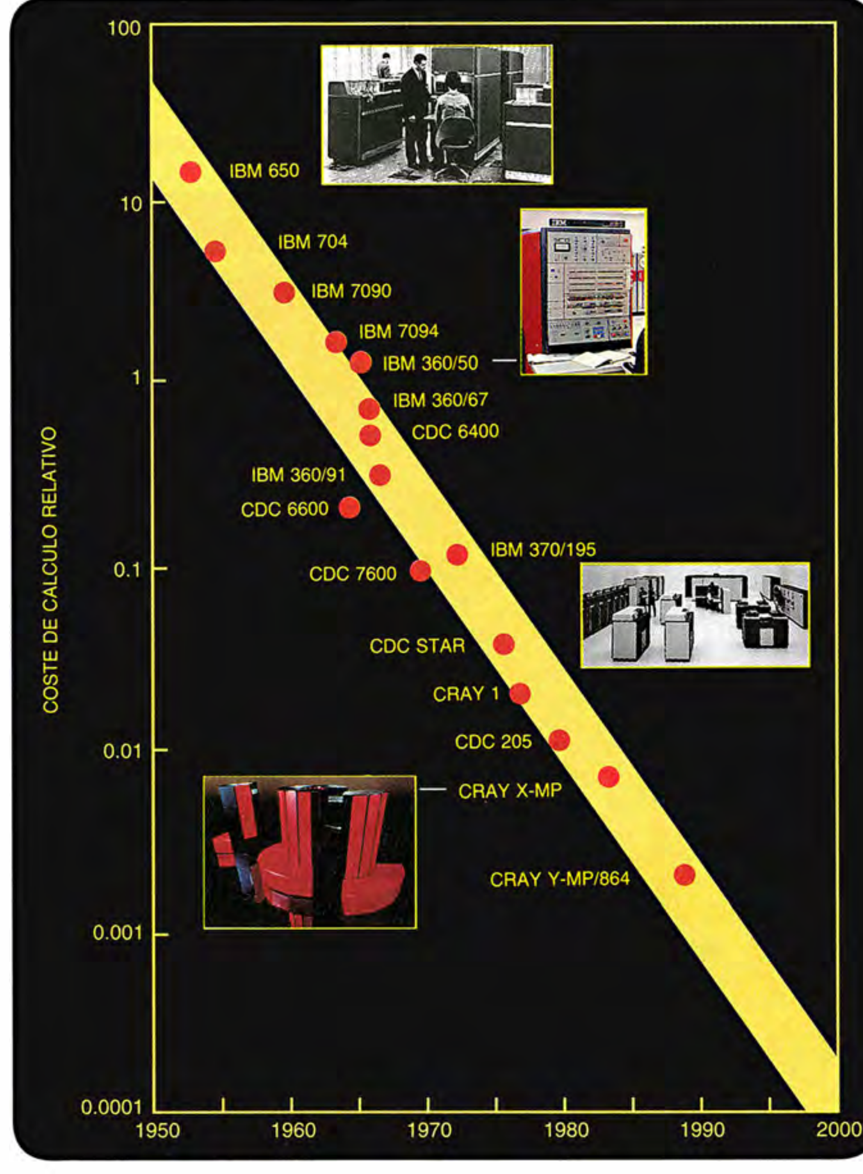
El computador personal Macintosh IIci de APPLE COMPUTER.



El soporte lógico previsto por APPLE: el vagabundo de redes.

tador apareció en las postrimerías de la década de los cuarenta, con el diseño de la calculadora programable para usos ingenieriles; su comercialización vino en los años cincuenta. El primer cambio ocurrió en los sesenta, cuando las empresas hicieron del ordenador su máquina principal de procesamiento de datos; en la década siguiente se asiste al segundo, con la compartición, por muchos abonados, de los servicios del computador. El tercer cambio, en los ochenta, transformó al computador en un instrumento de sobremesa para uso personal. Y estamos viviendo la cuarta transformación. Sus precursores son el creciente número de aparatos portátiles conectados en red y las agendas electrónicas de bolsillo —máquinas móviles a las que denomino pericomputadores. Estos últimos son útiles lo mismo por el número limitado de funciones que pueden realizar por sí solos, que por el acceso que permiten a un mundo de información materializado electrónicamente.

Cada cambio ha traído, también, una percepción distinta del ordenador por parte del público. En los años sesenta, la potencia de cálculo era cara y los trabajos tenían que ser organizados a la conveniencia de la máquina. Los datos debían procesarse en grandes lotes para pagar el coste de la técnica, y sólo las empresas de cierto volumen generaban tales lotes. Se corría un programa de nóminas para procesar las tarjetas de horas semanales trabajadas; terminado éste, se cargaba otra misión —un programa con sus correspondientes datos— en el computador. Los trabajos se codificaban en tarjetas perforadas o cintas magnéticas y los resultados se entregaban en listados impresos sobre papel plegado y perforado. El computador se paraba si encontraba cualquier error, en el programa o en los datos, y devolvía el trabajo defectuoso al cliente para su corrección, un proceso desesperante cuando se repetía a lo largo de muchas horas e incluso días.



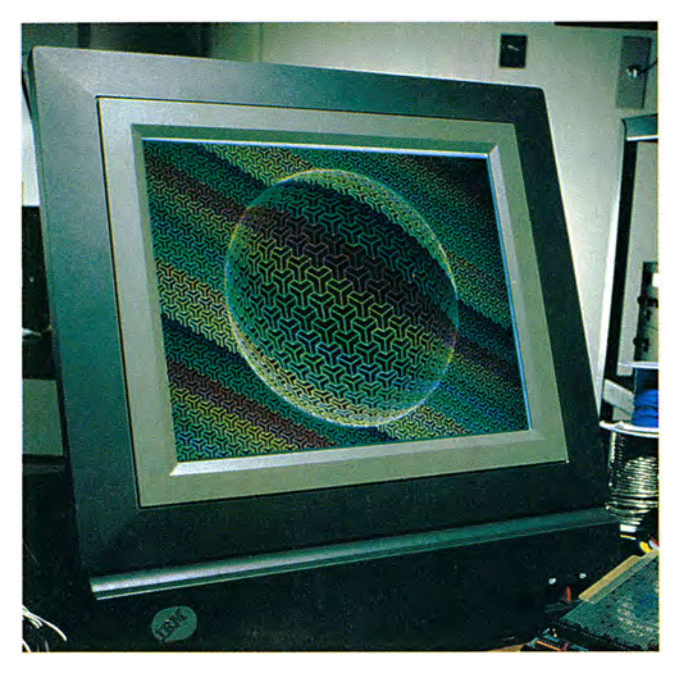

FUENTE: *Victor Peterson, NASA Ames*

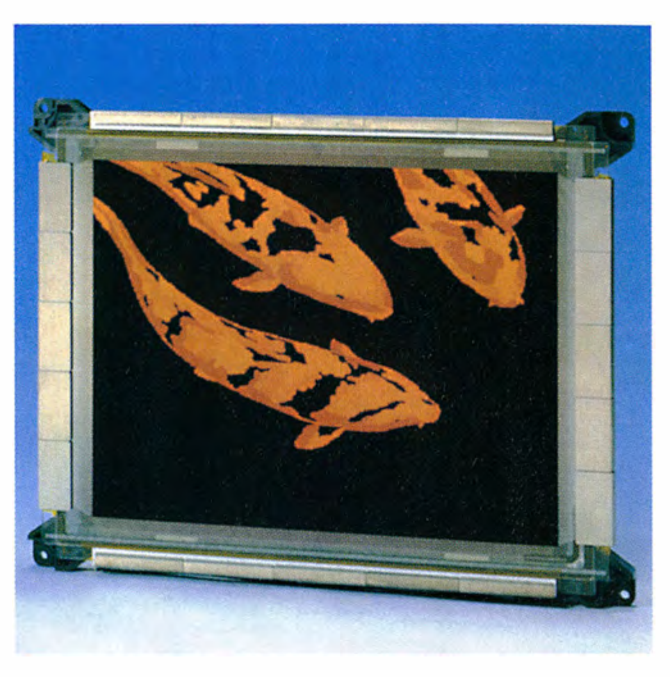
**1. EL COSTE DE CALCULO se reduce a la mitad aproximadamente cada tres años, tal como muestra este gráfico con las máquinas comerciales más potentes de cada era.**

En los setenta, el tiempo compartido hizo que el procesamiento de datos fuera más accesible, repartiendo el coste de un computador entre muchos abonados. Esto se hizo adaptando el sistema operativo (por el cual el computador coordina sus actividades internas) de suerte que se dividiera la atención de la máquina entre "tareas" tales como interaccionar con el terminal de un usuario particular. El computador pasaba de una tarea a la siguiente en intervalos que oscilaban entre menos de una décima de segundo hasta un segundo o más, según fuera la carga de trabajo en ese instante. Los computadores se tornaron más flexibles: podía accederse a ellos desde un terminal y ser interrogados en tiempo real. Uno podía, pues, trabajar en un problema a su propia conveniencia, formulando una pregunta y utilizando la respuesta para construir la siguiente.

En un comienzo, los computadores personales proporcionaron servicios similares al tiempo compartido, pero con mucha más comodidad. Los avances en los microprocesadores permitieron introducir un computador en una pastilla ("chip"), con el abaratamiento consiguiente de los costes: era menos caro comprar un computador pequeño que compartir otro grande. Con esa liberación de la atadura de los servicios compartidos, podíase trabajar a voluntad en materias que antes debían guardar turno. El procesamiento de textos y la generación de diagramas se convirtieron en procesos rutinarios.

Se captó, además, a una nueva clase de usuarios mediante una serie de programas cada vez más versátiles (recordemos las aplicaciones de la maquetación y otras), que fueron posibles por la entrega de una potencia de procesamiento sin precedentes a un solo destinatario. La comunicación del sujeto con el ordenador se hizo más fluida, pues aquél cedió a éste el peso de retener todas las órdenes posibles. Ahora se le ofrecen al usuario varias elecciones en menús y paletas, para su examen visual antes de proceder en la opción deseada.





**2. PANTALLAS PLANAS y su importancia crucial para el desarrollo de computadores portátiles y compactos. Se ofrecen dos configuraciones, una de cristal líquido, de IBM (*izquierda*), y otra de plasma, de Fujitsu (*derecha*). Los diseños futuros deberán tener menor consumo.**

Para los millones de personas que aprovecharon el poder de la informática desde un primer momento, los beneficios fueron impresionantes. No volverían a escribir la página entera para incorporar una nueva frase, esperar semanas para que otros les entregaran las maquetas, tomar decisiones basadas en una o dos previsiones financieras tediosamente calculadas o presentar una idea excitante de una forma monótona. Los nuevos servicios empezaron como un lujo, pero no tardaron en imponerse por obligación, a la manera de la mecanografía un siglo antes.

Los viejos paradigmas no tienen por qué extinguirse del todo. La evolución de la informática a este propósito recuerda la de los organismos, que sobreviven en ciertos nichos aun cuando hayan cedido el paso a nuevas formas de vida. El tiempo compartido predomina todavía en las industrias que procesan muchas transacciones —por ejemplo, los bancos, los servicios de créditos y las agencias de reservas en líneas aéreas. También se han desarrollado nuevas aplicaciones aprovechando las ventajas de los ordenadores personales. Los abonados pueden usar sus modems para obtener en vivo noticias, realizar compras y servicios bancarios.

De un modo parecido, el soporte físico asociado con la informática móvil no eliminará a los ordenadores personales. Un computador enchufado en una toma de pared tiene más potencia que otro alimentado por baterías. Una persona sentada en una mesa tendrá ocasión de aprovechar la pantalla mayor y la mayor capacidad de almacenamiento propias de una máquina grande, así como la vía de entrada más rápida y segura de un teclado completo. Otras ventajas de los computadores fijos residen en la vasta cantidad de información con que son alimentados. Los cables transmiten más datos que las ondas de radio, y la fibra óptica —el proyectado sucesor del cable— ahondará esta diferencia. Esta frontera se apreciará en videoconferencias y otras aplicaciones de vídeo voraces de datos.

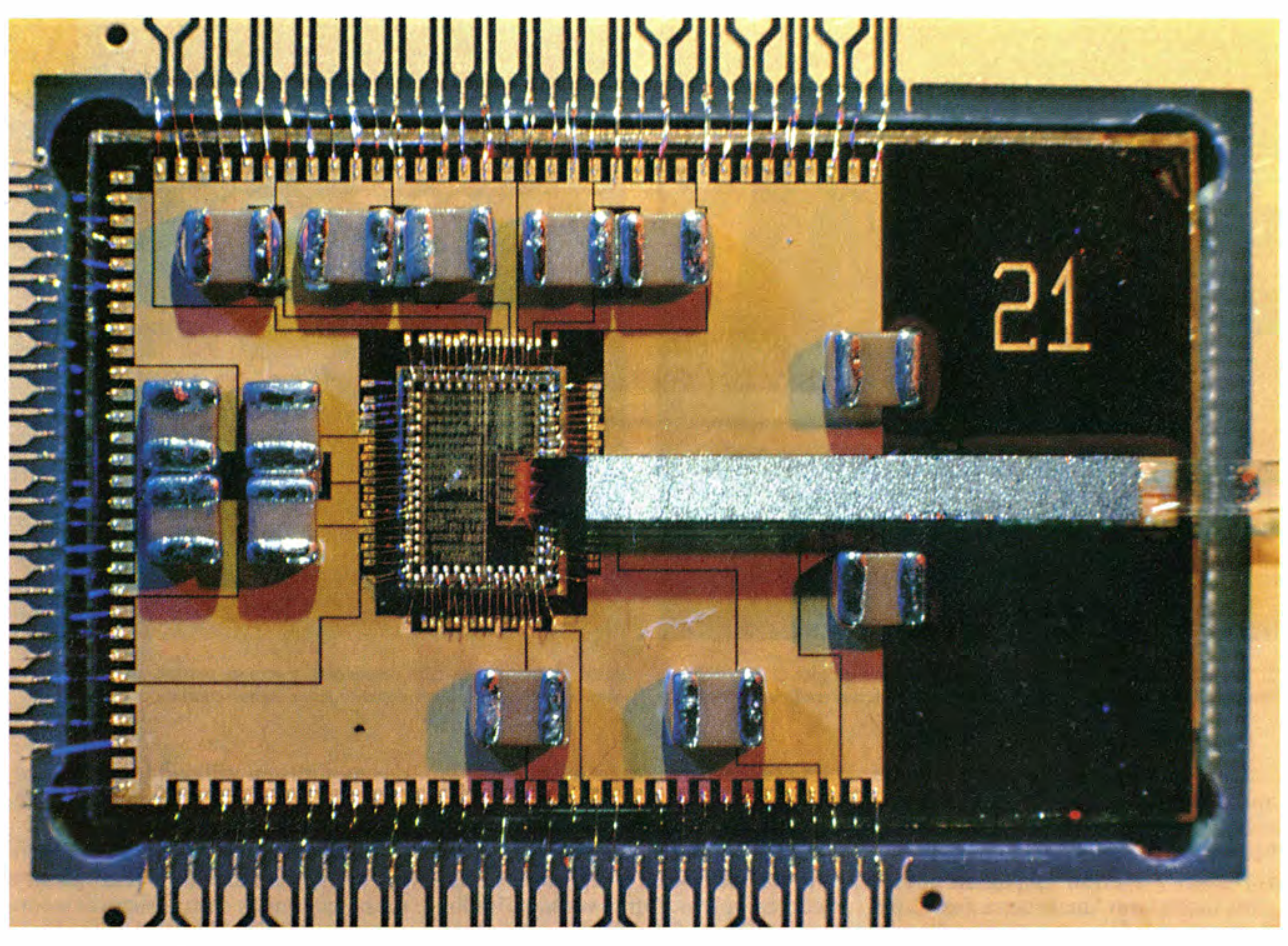
Cada era de la informática refleja la velocidad de cálculo del momento, la variedad de información procesable, las formas en que los computadores se traban en redes, la programación para el usufructo de esas redes y la vía de interacción entre el hombre y la máquina. La velocidad, el elemento fundamental, se ha acelerado con la miniaturización.

Con la miniaturización de los dispositivos electrónicos se han incrementado la velocidad del paso por los mismos de las señales y el número de operaciones por período realizables. Ha caído el coste de la computación y crecido la cifra de dispositivos empaquetados en una pastilla. Manufacturados éstos en lotes mayores, se abarata el coste unitario de fabricación. Y, a menor coste, mayores ventas, lo que comporta beneficios adicionales de economía de escala. Desde el punto de vista del usuario, la reducción de tamaño consigue rápidas mejoras en utilidad y comodidad, una tendencia que, por lo que se ve, debe proseguir.

Hace treinta años los computadores se montaban uno a uno, pieza a pieza, con miles de transistores y condensadores. Las fábricas los producen hoy en cantidades industriales con un puñado de microcircuitos integrados, cada uno de ellos dotado de millones de componentes. A lo largo de nuestra década se abandonará la preparación individual de esa suerte de ciempiés que son las pastillas; el sector de los semiconductores conseguirá mayores densidades de circuitos mediante la creación de módulos de multipastilla en dos, o incluso en tres dimensiones. Los microprocesadores apilados formarán bloques del tamaño de un terrón de azúcar.

La miniaturización favorece el progreso de otros componentes de los sistemas de computación. La memoria, por ejemplo, era tan voluminosa como el papel hasta hace veinte años escasos. Para almacenar en forma accesible un millón de caracteres de texto, se requería entonces un disco del tamaño de una tarta de cumpleaños. Por los ochenta todos esos datos podían transportarse en un disco flexible que cabía en un bolsillo de la camisa. Pronto los llevaremos en un dispositivo semiconductor no mayor que una tarjeta de crédito.

Cada nueva transformación paradigmática abre la puerta a nuevos tipos de datos. Los primeros sistemas de procesamiento por lotes sólo manipulaban números y letras mayús-




**3. PASTILLA EXPERIMENTAL NEXIS de IBM, que convierte señales ópticas en electrónicas, con rapidez suficiente para permitir que los computadores intercambien datos en tiempo real a larga distancia. Tales capacidades serán necesarias para las redes avanzadas. La pastilla integra cuatro detectores de arseniuro de galio con la circuitería que amplifica y preprocesa sus señales de salida. Los canales de fibra óptica (*centro*) se hacen visibles con la transmisión de luz roja; normalmente se usa la luz infrarroja para minimizar pérdidas de energía.**

culas. Los sistemas de tiempo compartido posibilitaron la edición de mensajes y documentos interactivos; a menudo, daban cabida a gráficos vectoriales, que permitían trazar líneas en la pantalla. Con los computadores personales llegaron los gráficos en trama, matrices de puntos como los píxeles que representan imágenes de televisión. Los computadores personales de sobremesa aportan ya servicio de audio, vídeo, animación y gráficos tridimensionales, medios que antaño quedaban confinados en el dominio de costosas estaciones de trabajo. La generación venidera de computadores móviles prestará atención al facsímil y la voz, medios de particular utilidad para quienes se hallan lejos del despacho.

El paso paradigmático hacia la red comenzó a urgirse a raíz del crecimiento por doquier de los ordenadores. Cuando los procesadores por lotes eran pocos, carecía de interés procurar que trabajaran en común. Pero el tiempo compartido deviene inconcebible sin el tendido de redes: líneas telefónicas o exclusivas han de conectar numerosos terminales a un computador anfitrión ("host"), ya sea el ordenador central de la empresa u otro pequeño que gobierna todo un departamento. Por expansión natural se establecieron redes más amplias (entre sucursales bancarias, por ejemplo) para facilitar el intercambio electrónico de datos. Los usuarios del tiempo compartido disfrutaban de servicios de almacenamiento masivo centralmente localizados e impresoras de alta velocidad conectadas al anfitrión. Podían enviar mensajes por correo electrónico a otros usuarios, quienes los recibían cuando conectaban sus terminales. Los primeros terminales fueron "necios", es decir, sirvieron de meros enlaces de datos. Las últimas versiones incorporaban una mínima potencia de cálculo y señalaron así la evolución hacia los computadores personales.

En la era de la informática de sobremesa, las redes han adquirido nuevas formas. Las redes locales conectan los computadores personales entre sí y con máquinas compartidas (anfitriones, o máquinas de propósito general, y servidores, o máquinas de propósito específico); las máquinas compartidas suministran archivos de uso común, impresoras de alta calidad y correo institucional electrónico. Las redes de área amplia interconectan los distintos departamentos de la empresa, poniendo en relación máquinas centrales y ordenadores de mesa individuales. La movilidad de los ordenadores significará el despegue de las conexiones sin cable hasta convertir la red en telaraña ubicua.

Por lo que concierne a las aplicaciones de soporte lógico, también habrán de cambiar cuando los computadores portátiles ocupen carteras, bolsos y bolsillos. Los que ya corren continúan con el estilo de interacción por menús, pero en nuestra década habrán de surgir estilos suplementarios. Se ha visto ya con la informática de transcripción, por ejemplo, gracias a la cual las máquinas portátiles presentan versiones impresas de palabras

manuscritas y elegantes reproducciones de números toscamente dibujados. El soporte lógico implicado reconoce símbolos dibujados a mano, cada uno de los cuales representa una orden entera o una idea. La lógica programada que subyace bajo el reconocimiento de la voz que obedece a órdenes habladas comienza a aplicarse a otros segmentos, apoyada en el progreso de la técnica.

La mayoría de estos computadores portátiles operan con la programación preparada para máquinas mayores. Sin embargo, se están desarrollando paquetes de aplicación específicos para la gente que se encuentra lejos de su despacho. En estas situaciones, los usuarios toman notas y bocetos, pero carecen de tiempo para componer y editar sus apuntes. También intercambian información con clientes y colegas, consultan con sus oficinas y planean sus citas y cómo conseguirlas.

Los ordenadores portátiles que realizan estas funciones integran la primera generación de pericomputadores. A pesar de su escasa potencia de cálculo, resultan de valor en las situaciones donde sería improcedente recurrir a un modelo grande. Podríamos fijar nuestra agenda de viaje en un ordenador personal de mesa y transferirlo a un pericomputador para una consulta rápida. Las notas tomadas sobre la marcha pueden prepararse para su pulimiento luego en el despacho; se puede coordinar una agenda de bolsillo y una agenda de grupo. Estas modestas aplicaciones establecerán una base de clientes de amplitud suficiente para justificar la escritura de programación especializada. Soporte lógico que servirá para dilatar luego el mercado.

La verdad es que el cambio mayor de cuantos experimentará la computación concernirá a la lógica implicada. Se programará atendiendo al grupo lo mismo que al individuo. Débese ello a la ampliación del tendido, que acerca al usuario al puesto de trabajo y la comunicación con los demás. Nos solemos olvidar de que, hasta las postrimerías de los setenta, los computadores eran manejados por técnicos expertos; los clientes se limitaban a exponer sus necesidades y aguardaban la resolución. Ese gremio de privilegiados perdió la exclusividad con el advenimiento de los ordenadores personales.

En un plazo de cinco o seis años, la participación en una red será fenómeno rutinario. El soporte lógico que respalda la actividad de un grupo se llama, obviamente, soporte de grupo ("groupware") y trabajo cooperativo asistido por ordenador (TCAO), la actividad de cooperación. El TCAO puede ser dirigido desde un lugar o desde varios, a la vez o en instantes diferentes: una conferencia en una sala de conferencias, una videoconferencia que llega a varios sitios, un tablón de avisos electrónico en el que intervienen trabajadores de distintos turnos o un sistema de correo electrónico para el intercambio de pruebas entre un autor y su editor.

Cuando las agendas de los directivos de la empresa descansan en un servidor de red, las horas de reunión más convenientes para todos se infieren automáticamente con el manejo de un soporte de grupo (verbigracia, el Meeting Maker, un producto diseñado por ON Technology de Cambridge). El promotor de la reunión selecciona hora y sala disponible, lo anota en una agenda y lo transmite a los posibles asistentes. El programa invita a la gente, le pregunta si piensa asistir y le da la oportunidad de hacer observaciones. El iniciador de la reunión puede cambiarla con facilidad, arrastrando una representación visual de la reunión desde una parte del calendario hasta otra con un ratón de mano o un puntero. El sistema notifica entonces el cambio a los convocados.

Mientras Meeting Maker aumenta el rendimiento de los directivos, otro soporte de grupo va más allá y presta apoyo intelectual. Ingenieros de diferentes partes del mundo podrían abordar proyectos en común y discutir como si se hallaran ante el mismo tablero. Los computadores enlazados en una red pueden simular muchas herramientas de colaboración y superar algunas de sus limitaciones. Un computador puede mantener una copia fiable de un diálogo para su posterior reorganización, edición y distribución; facilitar la construcción, revisión, modificación y presentación de modelos en tres o más dimensiones; transportar documentos por correo electrónico para que cada participante introduzca sin dilación las modificaciones necesarias; mantener una lista de quién cambió qué y fusionar automáticamente los cambios inequívocos.

Cuando en una reunión delicada posean todos un computador y todos los computadores se hallen conectados a la red, las ideas irán y vendrán en un espacio compartido y quedarán expuestas a la vista de todos en computadores personales o en una pantalla proyectada en la pared. Los ensayos acometidos en el Centro de Investigación de Xerox en Palo Alto y

otros lugares de estudio del TCAO han demostrado que la gente juzga las ideas que aparecen en una pantalla más por su valor que por el cargo que ocupa quien las formuló. Una ventaja añadida es que no es necesario esperar turno ni siquiera hablar para ser oído.

El soporte de grupo adquirirá mayor realce cuando la comunicación sin cable permita el acceso a voluntad. Posibilidad que es crucial: la gente quiere formar grupos de trabajo improvisados en cualquier sala, disponga o no de toma de conexión. Además, lo normal es que se necesite acceder a las agendas de grupo cuando se está lejos del despacho. Llegado ese momento, se percibirá el apremio de otras necesidades. Una persona de viaje o partícipe en una reunión no puede permanecer atenta a una pantalla o formular instrucciones detalladas, por ejemplo, pero es fácil dar una orden breve a un soporte lógico dotado de paciencia y sumisión infinitas.

El soporte de grupo y otras programaciones relacionadas con la red acertarán o fracasarán según cuántas décimas de segundo tarde en responder a las preguntas del usuario. En muchos casos, los productos de luces limitadas ganarán la batalla a otros más refinados, si realizan el trabajo en seguida. Así ocurrirá con lo referente a los servicios activos, los proporcionados por la lógica que guía las decisiones de una persona en tiempo real. Un conductor que quiere cambiar su ruta para evitar atascos, por ejemplo, no puede esperar instrucciones mucho tiempo.

No basta que el soporte lógico sea rápido para que guste; debe ser fácil de obtener. La tendencia del mercado se deja ya sentir. La informática personal de sobremesa estimuló la demanda de aplicaciones genéricas con tintes de mercado de masas: los vendedores de programas distribuyen sus productos en discos flexibles o disquetes de bolsillo que se venden en las tiendas o por correo. Cuando llegue la distribución electrónica, la gente pedirá un producto y lo cargará en su ordenador en cuestión de minutos. Bajará la piratería de programas, que se copian más por ahorro de tiempo que de dinero.

La distribución electrónica de programas promoverá el empaquetamiento del soporte lógico en unidades menores, que se transmitan más fácilmente. Los consumidores compondrán sus propias aplicaciones mediante segmentos o piezas de programación adquiridas por separado, a modo de componentes de un equipo doméstico de sonido. El advenimiento de tales "componentes" de soporte lógico invertirá la tendencia de la última década hacia aplicaciones cada vez mayores, más caras y difíciles de aprender. El cliente dejará de sustituir la versión del año pasado con 20 funciones por la nueva de este año con 40; antes bien, seleccionará las funciones deseadas de un catálogo. Si se necesita una nueva función podrá solicitarse, y recibirse, de inmediato o incluso automáticamente.



**4. EL ORGANIZADOR PERSONAL aproxima las redes a la palma de la mano. Estos dispositivos móviles admiten conexión directa (*arriba*) o por vía telefónica.**

Habrá que eliminar muchos obstáculos antes de que las redes ubicuas constituyan una realidad. Algunos escollos son auténticos cuellos de botella, fenómeno éste habitual en las etapas iniciales de los paradigmas anteriores. Aunque se habían previsto, con años de antelación, distintos aspectos de la informática personal, hubo que esperar a la década de los ochenta para que el microprocesador monopastilla, la DRAM (memoria dinámica de acceso aleatorio) semiconductora y muchos factores comerciales satisficieran las expectativas. Para que la informática móvil en red llegue a ser la línea principal de los noventa, la técnica involucrada tendrá que avanzar en punto a velocidad, peso, tamaño, robustez, coste y consumo de energía eléctrica.

Pantallas de vídeo compactas y de poco consumo son de absoluta necesidad para los pericomputadores. Las configuraciones de cristal líquido (LCD) son hoy la norma, por más que apenas empiecen a igualar la calidad de los tubos de rayos catódicos. Una aproximación que permite resolver el problema, promovida independientemente por las empresas RCA y Westinghouse, modifica los elementos de cristal líquido de manera que polarizan la luz, dirigiéndola luego al filtro de color adecuado. Los LCD de color y su luminosidad de fondo fluorescente suponen, sin embargo, una carga importante para la batería portátil; podría pensarse, en opción alternativa económica, en técnicas de emisión de luz directamente desde la pantalla, verbigracia, la configuración ("display") de emisión de campo, que consta de miles de cátodos microscópicos.

El consumo de energía de la electrónica de un computador portátil condiciona y limita sus prestaciones. De ahí que el interés se centre en los dispositivos que requieren mínima



**5. HOMBRE Y AMO: La imagen del computador ha cambiado con su modo de empleo. Cuando las máquinas eran caras y difíciles de programar, la fantasía popular las asoció a remotos tiranos, como en la película *Coloso: el proyecto Forbin*. En la escena superior se muestra al Dr. Forbin apoyado en Coloso, el computador que diseñó y bajo cuyo dominio acaba. ¿Representarán los computadores de mañana el papel inocente del sirviente?**

energía. Me refiero a los microcircuitos construidos con técnicas de metal óxido semiconductor complementario (CMOS); me refiero también a los sistemas que funcionan con una tensión baja (3,3 volts, en vez de los cinco acostumbrados); a los circuitos que emplean pocas pastillas, con la consiguiente rebaja de coste en el cableado entre pastillas, y aludo, por último, a las arquitecturas que usan un lento reloj del sistema (que, a modo de director de orquesta, marca el ritmo de los componentes).

Las dos configuraciones más prometedoras obtienen más velocidad con menos potencia, pero proceden de modo diverso. La arquitectura RISC (computador con reducido juego de instrucciones) transfiere parte sustantiva del trabajo desde el soporte físico hacia el lógico. Hasta la fecha, no se ha empleado apenas en máquinas móviles, por culpa del diseño de éstas, que buscaba optimizar prestaciones y no minimizar tamaño y consumo. La inglesa ARM Ltd. constituye una excepción.

La otra configuración evita el compromiso entre velocidad del reloj y consumo librándose del reloj. Esas arquitecturas de flujo de datos o asíncronas sirvieron en un comienzo para viabilizar el procesamiento en paralelo. Por norma, no permiten dar ningún paso sin disponer de todos los datos. Pero esta informática "a su debido tiempo" está llena de complicaciones. Es como tener una orquesta cuyos miembros reciben las órdenes de entrada de otros miembros y no de un director.

Cabría también, en atención al relieve del consumo, mejorar las baterías. Tienen las actuales en contra el no poder volver a usar las alcalinas, la baja capacidad de las de níquel-cadmio y el grosor de las de plomo-ácido. Inconvenientes que, a veces, pueden contrarrestarse. La miniaturización, por ejemplo, ha perfeccionado los condensadores para que acumulen energía a partir de fuentes con baja salida y la aporten en períodos de alta demanda. El soporte lógico permite extraer automáticamente de las baterías de níquel-cadmio toda la energía antes de cada recarga e impedir así la pérdida permanente de la capacidad de almacenamiento (efecto memoria). Hay fundadas esperanzas en nuevas baterías de litio e hidruro de níquel metálico, amén de las células fotovoltaicas, de uso ya en calculadoras. Por desgracia, la conservación de la energía impide que ningún conjunto razonable de células solares pueda alimentar una luminosidad de fondo suficientemente brillante para superar la luminosidad del sol.

Las técnicas de reconocimiento de la escritura y la voz facilitan el manejo de los ordenadores portátiles. No hay que olvidarse de esa importante misión, si queremos evitar juzgar un sistema sólo por el número de palabras que distingue o por el porcentaje de errores que comete. El reconocimiento de lo manuscrito se ha esgrimido como vía de introducir los ordenadores entre la gente alérgica a los teclados. Pero hay momentos en que, sin esa fobia, tampoco podemos

# LA CIENCIA DE ESPAÑA EN INVESTIGACION Y CIENCIA

Algunos de nuestros colaboradores:

Ramón Margalef,
**Biología de los embalses**

Manuel Losada,
**Los distintos tipos de fotosíntesis y su regulación**

Antonio Prevosti,
**Polimorfismo cromosómico y evolución**

Pedro Pascual y Rolf Tarrach,
**Monopolos**

Antonio García-Bellido,
**Compartimentos en el desarrollo de los animales**

Manuel García Velarde,
**Convección**

Juan Barceló y Charlotte Poschenrieder,
**Estrés vegetal inducido por metales pesados**

Francisco Sánchez,
**Luz zodiacal**

León Garzón,
**Los actínidos**

Nicolás García,
**Inventores españoles del siglo de oro**

Emilio Herrera,
**Metabolismo de los glicéridos en el tejido adiposo**

A. Ferrer, E. Sanchis y A. Sebastià,
**Sistemas de adquisición de datos de alta velocidad**

Juan A. Sanmartín,
**Física del botafumeiro**

Rodolfo Miranda,
**Física de superficies**


teclear (conduciendo, paseo de inspección, etc.). En Japón, donde el lenguaje presenta una riqueza de símbolos escritos hostil a los teclados, esa técnica se ofrece como un movimiento añadido a la expectativa de venta.

La experiencia acumulada con el reconocimiento de lo manuscrito se podrá aprovechar, en cierta medida, para el reconocimiento de la voz. Ambas técnicas requieren, en las aplicaciones más refinadas, un detallado análisis lingüístico a través del cual el programa entiende una palabra o una frase. Uno y otro proceso deben comprender, lo que no es tarea fácil, dónde acaba una palabra y empieza la siguiente. Ambas técnicas, además, deben ser sensibles al aprendizaje para adaptar sus representaciones de letras o sonidos a la escritura y pronunciación del usuario.

El reconocimiento versátil del habla requiere un formidable poder de cálculo. Ahora bien, sin tanto soporte físico podemos conseguir capacidades, aunque limitadas, útiles. Es difícil programar un computador para que acepte un dictado continuo sin confundir el final de una palabra con el comienzo de la siguiente; pero fácil, por contra, programar una sencilla computadora de mano para que distinga "sí" de "no". A un puñado de órdenes puede reducirse lo que la mayoría de los usuarios necesita pronunciar cuando sus manos no están libres.

Los sistemas de reconocimiento identifican trazos del bolígrafo o vibraciones de la voz mediante el análisis de ciertos rasgos. Peculiaridades que se cotejan luego con una plantilla que hay en la memoria del computador. Los rasgos pueden analizarse también por redes neurales, así llamadas porque imitan la forma en que se supone que opera el cerebro. El ordenador enlaza en una red la representación digital de las neuronas, cambia luego selectivamente los pesos asignados a cada conexión. Un proceso de prueba y error se encarga luego de adiestrar al sistema en la discriminación de distintas señales.

En la capacidad del medio electromagnético tienen los pericomputadores otro desafío técnico. Para evitar que un transmisor tape a otro, las redes tendidas dentro de un mismo edificio agruparán a los transmisores en celdas pequeñas. Las celdas mayores requerirán enlace por radio, si bien los transmisores locales pueden escoger luz infrarroja, zona del espectro que no está regulada por autoridades federales ni internacionales. La dificultad se agudizará cuando los computadores móviles empiecen a vomitar megabytes de datos a través del éter. Incluso la adopción de un sistema celular, como el usado en los teléfonos de coche, podría diferir la saturación no más de unos pocos años.

De cualquier modo, no habrá más remedio que acudir a los sistemas celulares, porque deberá seguirse el recorrido de las máquinas portátiles. Si dos participantes salen fuera de alcance, la red tendrá que restablecer la conexión de forma clara mediante equipos subsidiarios de seguimiento. Aun así, habrá veces en que los aparatos móviles pierdan el contacto. Será preciso diseñar un soporte lógico capaz de reanudar fácilmente la comunicación interrumpida.

No menos importantes que los cambios técnicos son los efectos que ejerzan en el hombre. Cada nuevo paradigma moldeó la conciencia humana de la relación usuario-máquina. En los días del procesamiento en lotes y tiempo compartido, el humano solía sentirse en situación de sometimiento. El computador de sobremesa trajo la independencia. Los computadores móviles en red les traerán la libertad.

El computador en red pondrá a prueba la empresa y la misma sociedad. La conectividad universal atañe a cuestiones de seguridad y privacidad personal y empresarial; concierne también a la distribución del poder. El abismo entre ricos y pobres podría ahondarse si, por ejemplo, el último paradigma de la informática crea aún más oportunidades para la gente culta y cercena la escasas posibilidades de los iletrados.

Por razones de justicia social y prosperidad económica importará más que nunca la educación general para que todos puedan beneficiarse de los recursos de información que se prometen. Si los beneficios de las redes se generalizaran, la democracia saldría fortalecida.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA


COMPUTERS AND COMMUNICATIONS. Koji Kobayashi. MIT Press, 1986.

THE MEDIA LAB: INVENTING THE FUTURE AT MIT. Stewart Brand. Viking Penguin, 1987.

COMPUTER-SUPPORTED COOPERATIVE WORK: A BOOK OF READINGS. Dirigido por Irene Greif. Morgan Kaufmann Publishers, 1988.

GROUPWARE: COMPUTER SUPPORT FOR BUSINESS TEAMS. Robert Johansen. Free Press, 1988.

IDEAS AND INFORMATION: MANAGING IN A HIGH-TECH WORLD. Arno Penzias. W.W. Norton & Company, 1989.

SHARED MINDS: THE NEW TECHNOLOGIES OF COLLABORATION. Michael Schrage. Random House, 1990.

# Ciencia y sociedad

## *Libertades civiles en el ciberespacio*

El 1 de marzo de 1990, el Servicio Secreto de los EE.UU. invadió las oficinas del editor Steve Jackson. Los agentes, provistos de un mandamiento judicial, confiscaron equipos y programas informáticos, las galeradas de un libro y gran parte de la documentación contable de la compañía, Steve Jackson Games. Se incautaron también del sistema de correo electrónico utilizado por el editor, requisando así la correspondencia electrónica privada depositada en el sistema. Cuando al fin fueron reveladas las razones del registro, quedó claro que Jackson jamás había incurrido en ningún delito.

Al igual que un número cada vez mayor de otras empresas, Steve Jackson Games gestiona un boletín electrónico, cuyos usuarios acceden a él marcando un número de teléfono en los modems de sus ordenadores personales; se intercambian así tácticas de juego, se enteran de sus últimas novedades y perfeccionamientos o charlan sobre lo divino y lo humano.

Las sospechas de los agentes se originaron en uno de los empleados de Steve Jackson Games, quien desde su propio domicilio y con un sistema de boletín electrónico gestionado desde allí, hizo un comentario absolutamente inocuo sobre un protocolo de uso público para la transferencia de archivos informáticos, llamado Kermit. Los agentes afirmaban, además, que en cierta ocasión el empleado había mantenido en un boletín electrónico una copia de una publicación electrónica de amplia difusión, donde aparecía información que —según creían— había sido robada de un ordenador de BellSouth.

Los agentes de la ley entendieron que estos hechos justificaban no sólo el registro de la residencia del empleado y la incautación de su material, sino también el de Steve Jackson Games y la aprehensión de suficiente equipo como para perturbar gravemente la marcha de la empresa. Entre lo confiscado se contaban todas las copias impresas más las copias electrónicas de reserva del manuscrito de un libro de reglas de un juego llamado GURPS Cyberpunk, en el cual los habitantes de un llamado "ciberespacio" invaden los sistemas informáticos estatales y de las grandes corporaciones y roban datos delicados o comprometedores. Los funcionarios entendieron que el libro constituía "un manual para la comisión de delitos informáticos."

Un conocimiento elemental de las clases de intrusión informática que son técnicamente posibles hubiera permitido comprender a los agentes que GURPS Cyberpunk no era sino una creación de ficción-científica y que Kermit no es más que un programa legal de uso común.

Tal vez la comunidad de usuarios de redes y sistemas de correo electrónico no sea muy numerosa todavía, pero todo precedente ha de ser entendido en un contexto más amplio. En cuanto foros para debate e intercambio de información, los boletines y sistemas informatizados de teleconferencia no vulneran las libertades de expresión y asociación. Están, además, evolucionando con velocidad, tendiendo a convertirse en servicios públicos de información y comunicación a gran escala.

Es probable que estos servicios públicos acaben convergiendo en una red pública digital, red nacional que podría servir de vía de comunicación para el comercio, la enseñanza y el ocio, y permitir la distribución de imágenes y señales de vídeo, amén de texto y señales acústicas. Buena parte del contenido de esta red estará formado por mensajes particulares; la red desempeñará también el papel que desempeñaron el ayuntamiento, la plaza del pueblo y la tertulia de café, foros públicos o semipúblicos donde la gente ha manifestado sus ideas.

Sin embargo, existe un sentimiento común y compartido de que la defensa de las libertades civiles en su variante electrónica está reñida con la legítima preocupación por la evitación del delito informático. El conflicto nace, en parte, del clamor popular provocado por la existencia de jóvenes técnicamente muy expertos, conocidos por "fisgones" ("hackers"), clamor que ha ahogado toda posibilidad de análisis razonable. Pero la imagen del fisgón malévolo se compra al precio de ignorar la realidad subyacente: el fisgón típico es un adolescente movido simplemente por la idea de explorar territorio prohibido. Algunos de ellos se cuentan entre nuestros talentos más brillantes y dotados. Los "hackers" de los años sesenta y setenta, por ejemplo, estaban animados por el deseo de dominar, comprender y producir nuevos equipos y programas, bagaje con el que procedieron a fundar compañías llamadas Apple, Microsoft o Lotus.

Lo que se necesita son principios jurídicos orientados contra las acciones de los auténticos delincuentes informáticos (como los que han creado las estafas mediante tarjetas de crédito o de las transferencias ilícitas), capaces de discriminar entre tales delincuentes y los fisgones, cuyos actos se asemejan más a la mera transgresión de lindes sin ánimo delictivo.

¿Cómo contribuir a la adaptación de nuestras instituciones? El primer paso consiste en la enunciación clara de las clases de valores que deseamos ver protegidos en la sociedad electrónica y preparar un programa encaminado a la preservación de las libertades civiles. Podemos echar mano de la jurisprudencia sobre otros medios de comunicación.

La intensa regulación a que están sometidos los medios de radiodifusión se funda en la idea, de acierto discutible, de que la estrechez del espectro electromagnético y la capacidad de penetración de radio y televisión conceden al gobierno el derecho de asignar y controlar el acceso a las frecuencias de radio y televisión (y de paso, de ejercer cierto control de los contenidos). El acceso a esta tecnología está abierto a cualquier consumidor que pueda adquirir un aparato de radio o televisión, pero en modo alguno es accesible en igual medida a quienes producen información.

Las redes informáticas, en su funcionamiento actual, contienen elementos propios de la edición impresa, de las emisiones de radio-televisión, de las librerías y de los teléfonos; pero no encajan exactamente en ninguno de estos modelos. Son híbridos que exigen ideas nuevas, o cuando menos, vías nuevas de aplicación de los principios legales clásicos. Por su carácter híbrido, las redes de ordenadores poseen también ciertas peculiaridades únicas entre los medios de comunicación. Por ejemplo, la mayoría de las conversaciones que se sostienen a través de boletines, líneas de charla y sistemas de teleconferencia, que son a un tiempo públicas y privadas. El comunicador electrónico se dirige a un grupo de individuos, de los cuales tan sólo conoce personalmente a unos cuantos, en una discusión que puede prolongarse durante días o meses.

Pero la diseminación está controlada, porque la afiliación está limitada al puñado de personas que se encuentran en la misma "sala virtual". Sin embargo, el resultado puede también ser "publicado"; un registro de

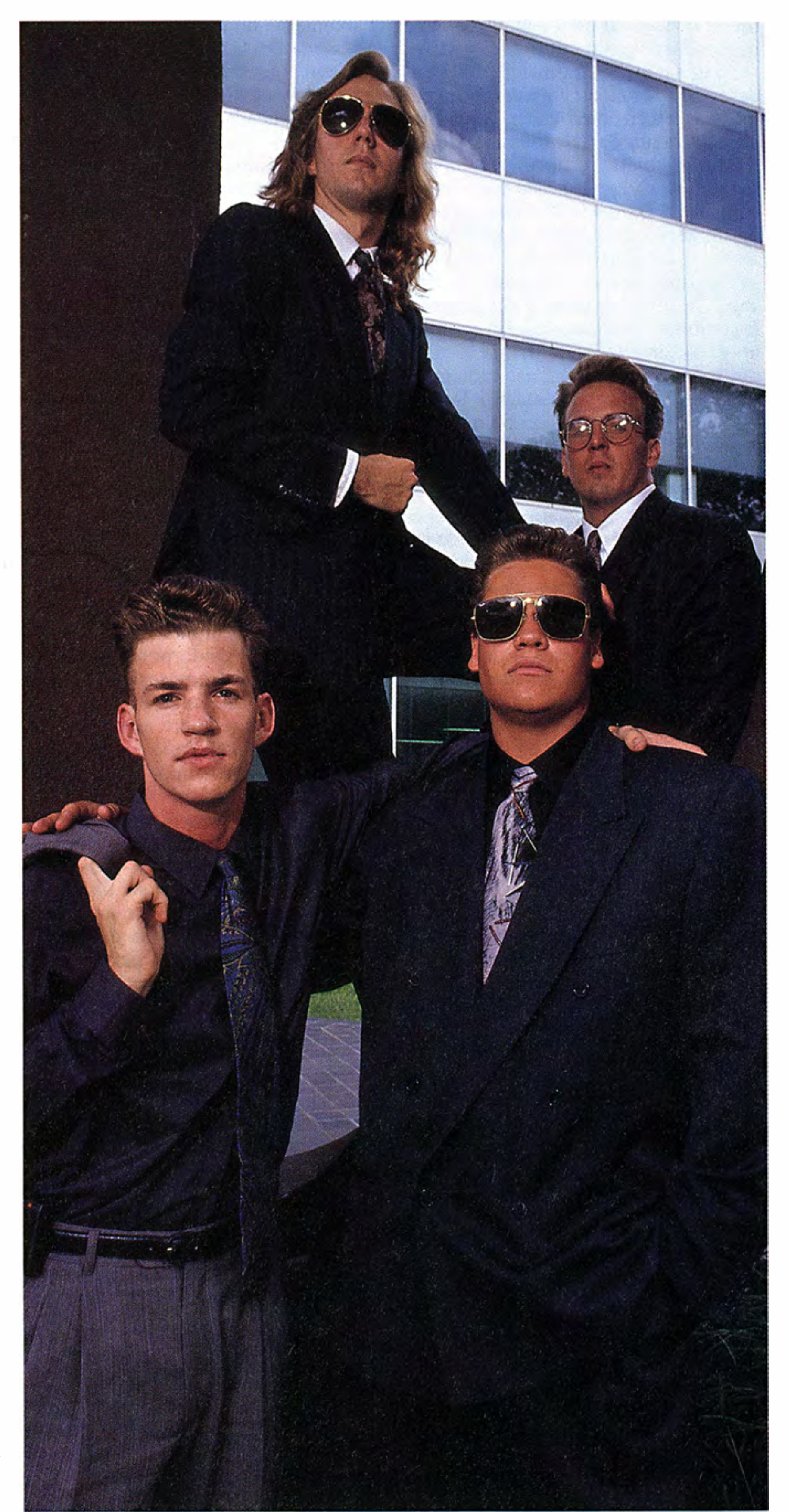
voz o texto puede ser automáticamente preservado y ser consultado más tarde por nuevos llegados. Hay quienes tienden a asimilar las conversaciones "en línea" a conversaciones privadas con terceros, mientras otros las equiparan a los periódicos y otros, aún, piensan en la llamada "banda ciudadana" para radioaficionados.

Con tamaña ambigüedad, la controversia sobre los límites de la libertad de expresión resulta inevitable. La libertad de expresión en las redes informáticas se propicia restringiendo las regulaciones tocantes a contenidos y promoviendo la competencia entre proveedores de servicios en red. La primera condición es necesaria porque los gobiernos sentirán la tentación de mediatizar o restringir el contenido de cualquier sistema de información. La segunda lo es porque la competencia mercantil constituye el medio más eficiente de asegurar que los usuarios vean atendidas sus demandas.

La red subyacente debería ser, fundamentalmente, una portadora, una vía de transporte general. O sea, habría de funcionar en un régimen de indiferencia respecto a lo transportado y ser accesible a toda entidad que pueda abonar las tarifas del servicio. Los servicios de información y de foro serían "nodos" de tal red. Cada servicio tendría su propio y específico carácter y cargaría tarifas propias. Si una entidad detectase la necesidad de un "periódico" electrónico con vigoroso control editorial, conseguiría captar un público. Otros servicios menos jerarquizados podrían compartir la red con ese periódico y encontrar, no obstante, sus propias cuotas de mercado en función de su formato y contenido.

La condición previa para una competencia de esta clase es una red de transporte capaz de soportar tráfico de banda ancha y accesible a los individuos. En cuanto portadoras de "carga general", tales redes habrían de ser meros conductos de distribución de transmisiones electrónicas. No se les debería permitir alterar el contenido de los mensajes ni establecer discriminación o preferencia entre unos y otros.

Lo cual exigirá que los gestores del sistema de transporte queden exonerados de responsabilidad por difamación, obscenidad o plagio. La ambigüedad de la ley de responsabilidades ha tentado a algunos "transportistas" informáticos a reducir sus riesgos imponiendo limitaciones al contenido de los mensajes. Tal situación podría evitarse mediante legislación adecuada, que exonere al transportista de responsabilidad so-



*1. DE INTRUSOS A GUARDIAS JURADO INFORMATICOS: ése es el paso dado por Scott Chasin, Chris Goggans, Kenyon Shulman y Robert Cupps* (de izquierda a derecha), *que, condenados antaño por introducirse en el ordenador de BellSouth, han formado su propia compañía (Comsec Data Security) para proteger a las empresas de las "miradas de los fisgones".*

bre el contenido de los mensajes y le impida discriminar entre unos y otros.

Ninguna de las definiciones clásicas describe adecuadamente el rol del publicista electrónico. Por ejemplo, para salvaguardar el potencial de indagación abierta y libre, resulta deseable que cada publicista conserve el control del flujo y la dirección general del material presentado a su "imprimatur"; habría, de hecho, que otorgar al operador del sistema (al "sysop") las prerrogativas y garantías de los editores tradicionales. En cambio, no es razonable esperar que el operador de un nodo supervise cada mensaje, ni lo es tampoco exigirle la misma responsabilidad por libelo que al director de una editorial. El tráfico de mensajes que pasa por muchos servicios de propiedad individual es ya demasiado intenso para que el operador pueda revisarlos. Y no es de esperar sino que la tendencia vaya en aumento. Tampoco resulta adecuado asimilar los nodos a estaciones de radiodifusión. Los nodos no se apropian de un recurso escaso de propiedad colectiva ni son un medio invasivo como la radio o la televisión. Para participar en una discusión, el usuario de la red ha de buscar activamente el nodo adecuado, por lo general, mediante suscripción previa y por intermedio de una contraseña personal.

No se quiere decir con esto que los principios de la libertad de expresión hayan de proteger a la totalidad de las comunicaciones electrónicas. Siempre se presentarán casos excepcionales, como el boletín que se dedicaba principalmente al tráfico de claves robadas para acceso a gran distancia o de números de tarjetas de crédito, casos incursos en responsabilidad civil o criminal. Sabemos que la libertad de expresión electrónica no puede ser absoluta. La libertad de expresión no protege a las comunicaciones inherentes a la conspiración para delinquir, la estafa, la difamación, la incitación a comisión de actos ilegales o la infracción de derechos de autor.

Si ha de haber limitaciones a la libertad de expresión electrónica, ¿cuáles habrán de ser, exactamente? Parece que ninguna forma de expresión debe estar sujeta a censura previa o acusación criminal, a menos que tenga la finalidad de incitar a acciones ilegales y sea verosímil que pueda causarlas. Y entre otros precedentes útiles se cuentan casos relativos a difamación o infracción de derechos de autor. Libertad de expresión no quiere decir que nadie pueda dañar una reputación o apropiarse de trabajos con derechos de autor sin que se le puedan pedir cuentas por ello. Y probablemente no significa tampoco que se pueda dejar suelto un virus por la red con el fin de "enviar un mensaje" a los abonados. Aunque la distinción es más delicada de lo que a primera vista puede parecer, el lanzamiento de un programa destructivo, como un virus, se analiza mejor encuadrándolo en comisión de un acto que en manifiestación de una expresión.

El desarrollo y puesta en práctica de un programa de libertades civiles para redes informáticas exigirá la participación creciente de quienes posean sólida preparación técnica.

Existe consenso general en que toda política sobre delitos informáticos habría de ofrecer protección para la seguridad, integridad y reserva de los datos, tanto en los sistemas institucionales como en los particulares. La definición de métodos de evaluación de daños y la graduación de penas proporcionadas exigirá ulteriores deliberaciones de buena fe entre las partes afectadas por las libertades electrónicas, desde los órganos de seguridad del Estado, pasando por los colegios de abogados, las empresas y las asociaciones cívicas. Será de especial importancia que se logre una representación exacta del daño causado por los delitos informáticos y no ahogar por falta de espacio la faceta valiosa del fisgón, su pasión por conseguir una comprensión legítima y más profunda por la exploración. Los sistemas de redes habrían de ser diseñados no sólo para proporcionar soluciones técnicas a los problemas de seguridad, sino también para permitir que los operadores de sistemas los utilicen sin vulnerar indebidamente los derechos de los usuarios.

Aquellas secciones del sistema donde los daños puedan ser más perniciosos (asientos contables, correo electrónico, datos militares) deberían estar protegidos, lo que supone establecer definiciones jurídicas del copyright, la propiedad intelectual, el delito informático y el carácter reservado o privado de los datos.

## *Imágenes más finas*

La fotografía de picosegundos podría revelar la presencia de tumores. Nada menos. La deteccción precoz es fundamental para el tratamiento de los tumores malignos. La transiluminación, técnica usada en las exploraciones de la mama, consiste simplemente en iluminar al trasluz un tejido blando y observar las sombras. Pero no permite observar tumores de menos de un centímetro de diámetro, porque la luz se difunde por el interior del pecho. El equipo de Ping P. Ho y Robert R. Alfano, de la Universidad municipal de Nueva York, acaba de descubrir un método que mejora bastante la resolución y posibilitará la detección precoz de tumores pequeños.

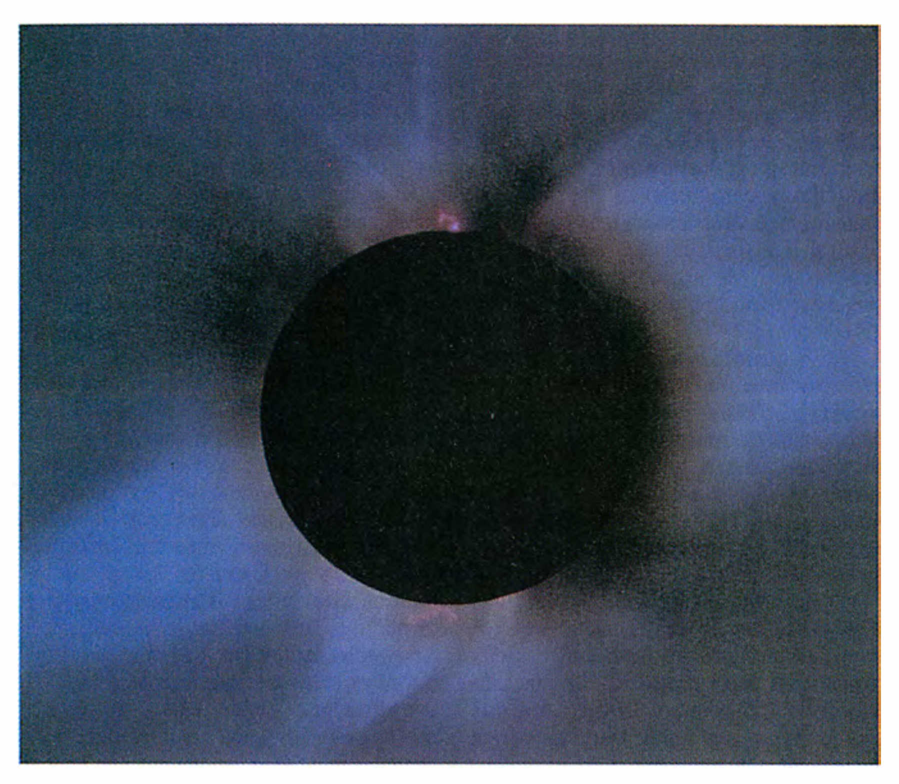
Los fotones se dispersan cuando, en su camino a través del tejido, golpean las moléculas del mismo. Pero no todos los fotones se difunden. Algunos pasan por el tejido sin apenas desviarse. El grupo de Nueva York cayó en la cuenta de que, en esa andadura directa, los fotones deberían arrastrar la imagen de cuantos elementos les salieran al paso.

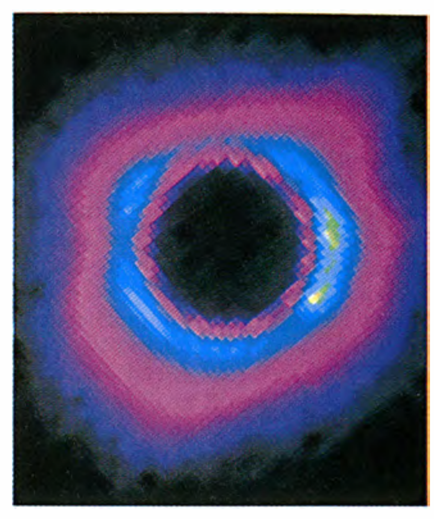
El problema era separar los fotones que habían seguido el camino recto de los fotones dispersados. Los primeros, a semejanza de los trenes expresos, llegan a su destino antes que el correo o los semidirectos. Ho y Alfano utilizaron un interruptor ultrarápido para fotografiar la primera onda de fotones que llegaba tras atravesar la muestra de tejido, iluminada ésta por un flash instantáneo.

El interruptor tenía que ser ultrarápido, cerrándose en unos pocos picosegundos (una billonésima de segundo). Se ha utilizado conjuntamente con una puerta óptica Kerr, dispositivo que consta de un líquido cuyas propiedades ópticas son alteradas por la luz. La sincronización precisa se obtuvo con luz del láser utilizado para iluminar la muestra y retrasándola haciéndole seguir un largo camino con prismas y espejos. La luz retrasada se usa para disparar la puerta de Kerr.

Con esta técnica, el grupo neoyorquino se encontró que podían obtener imágenes de finas tiras de tejido y de puntos de luz con resolución inferior al milímetro en muestras de tejido humano de 3,5 mm. También pueden ver a través de muestras de tres milímetros de tejido muscular de gallina, que es muy fibroso, y a través de cinco centímetros de agua rellena con perlas de polistireno. Cuanto menor es el tiempo que la puerta de Kerr permanece abierta, mejor es la resolución. Los fotones difundidos degradan la imagen cuando la puerta permanece abierta más de veinte picosegundos.

El objetivo ahora es incrementar el tamaño del espesor del tejido manipulable por la técnica. Para que la técnica sea útil desde una perspectiva clínica sería bueno arrancar con un par de centímetros. Para conseguirlo, se planea utilizar una cámara más sensible, puertas de Kerr más rápidas y una iluminación láser más potente. Si al final estos trabajos culminan con éxito, la transiluminación podría convertirse en una técnica común en la detección precoz de los tumores.





## *Las plumas del sol*

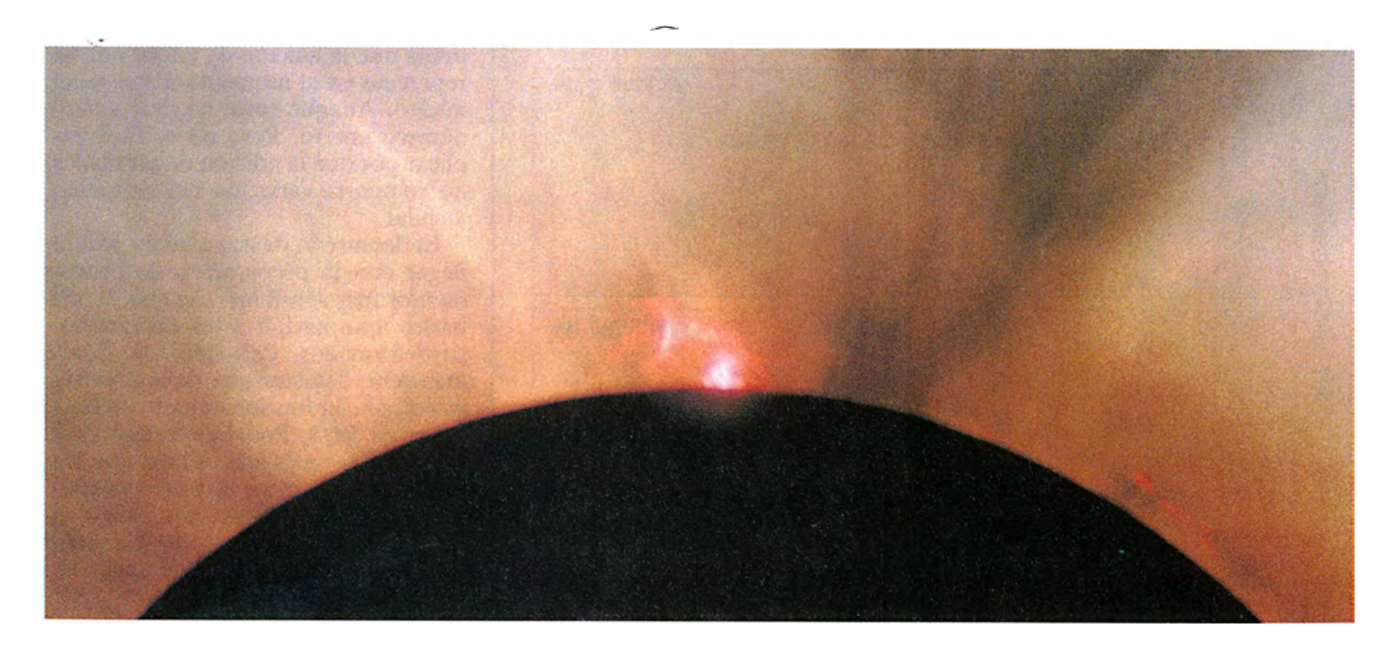
No suele irse a Hawai en viaje de trabajo. Salvo que se sea astrónomo, como los que acudieron a Mauna Kea para observar y tomar medidas durante el eclipse total del 11 de julio pasado. A pesar del tiempo amenazador, de la actividad de un volcán cercano y del polvo arrojado a las alturas en la erupción del Pinatubo, registraron el evento en varias longitudes de onda, desde el visible hasta el milímetro.

Muchos se concentraron en la corona solar. Un grupo del Instituto de Astronomía de París, encabezado por Serge Koutchmy, usaron filtros para fotografiar la estructura interna de la corona (*arriba, a la izquierda*) que suele quedar oscurecida por su parte exterior luminosa. Más evidentes son las descargas coronales de plasma o gas ionizado, que suelen seguir al campo magnético del Sol.

Las prominencias solares, proyecciones gaseosas que emergen de la superficie, se muestran en color rojo; en la posición de las 12, se distingue una muy intensa (*foto inferior*). También aparece reflejado el efecto de la erupción del volcán Pinatubo. El polvo y la ceniza presentes en la alta atmósfera hacen más brillante lo que en condiciones normales sería un fondo azul oscuro.

Giovanni Fazio y Eric Tollestrup, del Centro Smithsoniano de Astrofísica de Harvard, obtuvieron las primeras imágenes en infrarrojo del eclipse solar. En la que ofrecemos, en falso color, arriba a la derecha, las prominencias solares vistas en las fotografías de Koutchmy se convierten en enormes manchas blancas; a la corona se le asigna el púrpura oscuro y el azul. (El anillo púrpura alrededor que ciñe al Sol es un artefacto del proceso de medida.)

Se esperaba dar con pruebas de anillos de polvo en torno al Sol, semejantes a los que rodean a Saturno. El polvo podría proceder de un cuerpo celeste vecino que se disgregó durante la formación del sistema solar o de materia arrojada por cometas y asteroides. Pruebas que no han aparecido. Quizás el estudio exhaustivo de otros datos (en luz visible) aporten algún indicio.



## *Ciclo de espín*

Imaginémonos un patinador sobre hielo que se revuelve sobre la punta de uno de sus patines. Pongámosle, de repente, un peso en cada mano. La masa del patinador cambia y, por consiguiente, su momento de inercia. Intuitivamente parece lógico pensar que, a cada cambio de masa, le sucede un cambio en la rotación. En el mundo subatómico, la intuición suele fallar. Físicos del laboratorio Lawrence de Berkeley han encontrado núcleos dotados de diferente masa que giran con rapidez, si bien sus momentos de inercia son muy parecidos, en el supuesto de que no sean iguales. De acuerdo con la doctrina aceptada, ese fenómeno carece de explicación.

Del choque descentrado entre dos núcleos que se fusionan y forman un cuerpo alargado que gira con rapidez, surge un núcleo en rotación. El núcleo deformado puede adquirir la figura de balón de rugby, pomo de puerta o plátano; todo depende de los núcleos y de la energía de la colisión. En un núcleo deformado típico, el eje longitudinal supera en un factor de 1,3 a los otros dos; pero si duplica a cualquiera de los ejes restantes, hablaremos de núcleo superdeformado.

Es en este último donde se produjo la curiosa circunstancia que motiva la nota. Un núcleo superdeformado en rotación decelera a pasos, emitiendo cada vez rayos gamma o fotones muy energéticos. Las emisiones generaban una banda característica de picos de energía que mantenían un espaciado regular. La sorpresa apareció al comprobar que los espectros de núcleos superdeformados distintos eran casi idénticos.

En la metáfora del patinador, significaría que no importa el peso que sostenga. Todos los núcleos poseían momentos de inercia parecidos y perdían momento angular en cantidades similares. La adición de un par de neutrones a un elemento podría no redundar en modificación del momento de inercia.

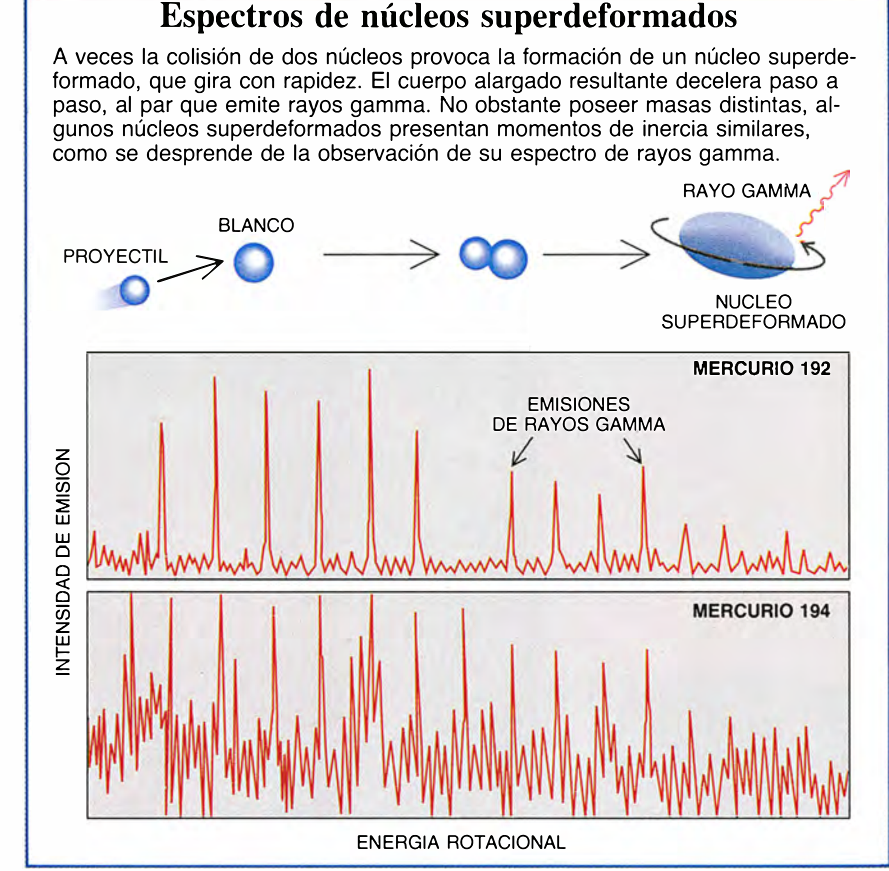
El fenómeno fue descubierto en 1989 por Peter J. Twin, hoy en la Universidad de Liverpool, cuando advirtió bandas muy parecidas en los isótopos de disprosio y terbio, núcleos que constan de unos 150 nucleones (protones y neutrones). Desde entonces, han aparecido muchas bandas similares en el laboratorio Lawrence de Livermore, sobre todo en núcleos cuya masa está en la región de 190 nucleones, donde se integran el mercurio, el talio y sus isótopos. Las bandas introducen rasgos inéditos en el estudio del núcleo.

Se desconoce por qué los núcleos presentan una inercia rotacional semejante, si no idéntica. En principio, lo que cabría esperar es que el momento de inercia varíe con la masa. Y hay otros factores, la forma del núcleo entre ellos, que deberían introducir cambios mayores de los que se observan. Quizá los núcleos superdeformados sean tan estables que el momento angular de los nucleones añadidos no afecte al espectro de rayos gamma. Pero una razón clara no hay.

Aunque ya de por sí es sorprendente el comportamiento de los momentos de inercia, los espectros de estos núcleos mostraron algo más. Coincidían en la posición de los picos de bandas diferentes. Alineamiento que implicaba que un nucleón adicional agregaba momento angular en unidades enteras o semienteras, es decir, cuantizadas. Ahora bien, no existe motivo alguno por el que la partícula tenga que añadir un momento angular cuantizado; el valor del momento angular podría ser cualquiera.

Un explicación parcial de ese espín cuantizado podría apelar a la noción de pseudoespín. Podemos suponer que los núcleos presentan capas, o paquetes de niveles de energía, que ocupan protones y neutrones, en una forma afín a lo que ocurre con los electrones que se instalan en los orbitales atómicos. En un núcleo en rotación, las capas se extienden, lo que insta la reorganización de nucleones en capas parciales o pseudocapas. Los espines intrínsecos de los nucleones terminan por orientarse según el eje de rotación del núcleo superdeformado. Aunque tal argumentación no lo explique todo, se acepta cierta intervención del pseudoespín. Hay quien opina que la adición de nucleones no repercute en el momento angular del núcleo. Aunque cero, no deja de ser número entero. Pero no es fácil explicar por qué la adición de partículas no comporta variación del momento angular.

El desenredo de esa madeja podría llegar con la preparación de instrumentos más sensibles, capaces de robarles información a los núcleos superdeformados. Pensamos en Gammaesfera, detector que tiene prevista su entrada en funcionamiento en Berkeley en 1993. Podrá detectar rayos gamma 100 veces más débiles que los reconocibles por los instrumentos actuales. Mientras tanto, los físicos le dan vueltas a una teoría que interprete coherentemente esos fenómenos. Ideas no faltan.




FUENTE: *Frank S. Stephens et al.*

# Ciencia y empresa

## *Luz de fantasía*

Las imágenes generadas por ordenador de rayos de luz que atraviesan las vidrieras de una iglesia o las de un reluciente robot decidido a destruir su blanco alcanzan un realismo convincente. Pero los informáticos y los matemáticos empeñados en trasladar la geometría y la luz del mundo real a la paleta bidimensional de una pantalla saben de la dura labor que se esconde tras el artificio de sus creaciones. "Del 90 al 95 por ciento de las figuras que vemos en forma fotográfica no se pueden simular en la pantalla de un ordenador", confiesa Patrick M. Hanrahan, del departamento de ciencias de la computación de la Universidad de Princeton.

Lograr el fotorrealismo —una imagen tan llana cuan difícil de reproducir como la hierba mecida por la brisa— es importante. Los avances que en este campo se operen condicionarán la presentación de los automóviles de la próxima generación, los modelos arquitectónicos y, sin duda, los efectos especiales de alguna película de Arnold Schwarzenegger.

Grafistas y expertos en máquinas de computación acuden a la física y la biología para buscar ideas que les indiquen la forma mejor de imitar la vida. Los primeros aprovechan la naturaleza ondulatoria de la luz y ciertos principios de la biología para construir y tejer sus imágenes.

Un grupo del programa de gráficos por ordenador de la Universidad de Cornell —Xiao D. He, Kenneth E. Torrance, François X. Sillion y Donald P. Greenberg— ha llegado incluso a exigir se le reconociese la prioridad del modelo de reflexión de la luz basado en la óptica ondulatoria. Los modelos de reflexión de la luz, que los programadores gráficos necesitan para calcular el color y el sombreado de las superficies, han empleado hasta ahora óptica geométrica, que describe la luz mediante rayos en vez de ondas.

Pero la modelización de la luz mediante figuras formadas por rectas impide simular la difracción y la polarización. Hay que representar, pues, las superficies o bien perfectamente difusoras (que reflejen por igual en todas las direcciones, a modo de alfombra) o bien como un espejo (que refleja la luz en una dirección). En el caso de superficies que combinen ambas propiedades nos vemos forzados a realizar cálculos imperfectos.

El modelo de reflexión de Cornell posibilita establecer la primera base de datos sobre la reflexión de la luz en los distintos materiales. Un proyectista de automóviles sólo tendrá que especificar la aspereza de la superficie y la clase deseada de pintura o aluminio para crear una simulación, casi exacta, de la reflexión de la luz en la capota del coche. El trabajo constituye, de entrada, la primera comparación de las predicciones de un modelo gráfico con las medidas reales de la luz reflejada.

El conocimiento de la reflexión de la luz en una superficie es sólo una parte de la elaboración de una imagen. El grafista debe también emplear un algoritmo que siga el camino de la luz al reflejarse de una superficie a otra. El grupo de Cornell ha creado un algoritmo de interreflexión que se apoya en el modelo de reflexión de la luz para construir una serie continua de imágenes, de la especular a la difusa. Trabajo que pretenden llegue a suplantar a dos de los algoritmos de interreflexión de mayor uso: la construcción de rayos para las superficies especulares y la radiosidad para las difusas.

Pero habrá que domeñar la complejidad del algoritmo, que, hoy por hoy, consume una enorme cantidad de tiempo de procesado de ordenador. El nuevo método invierte varias horas en un ordenador potente para construir el sombreado y coloreado de una sola imagen.

Para construir un modelo tridimensional de un objeto, que se suele realizar mediante una malla de miles de pequeños polígonos, se necesita un método operatorio no menos minucioso. El grafista especifica el movimiento de esos intrincados esqueletos. El modelo se colorea y sombrea, después, mediante el algoritmo ideado por los matemáticos de Cornell. Otros algoritmos hilvanan la textura de la superficie del modelo. Uno de los escollos principales a remontar en tan largo proceso es el de generar formas y figuras naturales. Los grafistas han buscado ayuda en la biología.

La técnica del empleo de una imagen como progenitora de otra —proceso llamado evolución artificial— sirvió para rodar *Panspermia*, película que describe la llegada de esporas a un planeta baldío, su desarrollo subsiguiente hasta convertirse en lozana vegetación y, finalmente, el lanzamiento de nuevas bolsas de esporas al espacio, a través del cual viajarían para colonizar otros mundos.

Karl Sims, de Thinking Machines Corporation, sembró sus plantas con un conjunto de 21 parámetros, un genotipo que encierra la clave de estructuras de morfología vegetal y órdenes del crecimiento. Se propuso entonces generar una comunidad de



*OPTICA ONDULATORIA y su empleo en un modelo de reflexión de la luz de la Universidad de Cornell: se ilustra cómo el suelo deviene gradualmente más especular conforme va cambiando el ángulo visual.*

genes mutantes, mediante un algoritmo que modificaba al azar los valores de los parámetros. Los genes habían de sufrir luego ulteriores mutaciones; en algunos casos, experimentó con cruzamientos entre genotipos.

En cada paso, Sims inspeccionaba los fenotipos —las plantas surgidas de genotipos mutantes o cruzados— y decidía qué retoños de cada generación merecían sobrevivir. Mediante tal selección, construyó su propia flora tropical, que se conjugó para formar las imágenes de la película final de dos minutos. Sims refinaría más tarde la técnica alterando al azar las ecuaciones que se usan para controlar el proceso de crecimiento.

La evolución artificial guarda relación con la vida artificial, una subdisciplina de las ciencias de la computación que usa algoritmos genéticos para desarrollar los códigos; éstos sirven para generar imágenes o facilitar el autoaprendizaje en las máquinas. Los entusiastas de la vida artificial especifican un objetivo final (por ejemplo, indicarle a la hormiga la forma de salir de un laberinto) y dejan después que el algoritmo averigüe la mejor manera de lograr dicho objetivo. Sims y alguno más detienen el proceso a cada paso, lo que les da un cierto control estético sobre el proceso de evolución.

Un modelo que el matemático Alan M. Turing creyó que podía explicar la formación de figuras en la naturaleza está también encontrando aplicación en el grafismo informático. Turing supuso que el movimiento y la interacción de diferentes mensajeros químicos en el interior del embrión —sustancias llamadas morfogenes— podrían instar a las células la expresión de un pigmento o su integración en un tejido. El modelo original de lo que Turing llamó reacción-difusión halla su respaldo matemático en un manojo de ecuaciones diferenciales parciales no lineales que los biólogos del desarrollo han empleado para explicar la formación de patrones en las alas de una mariposa, las manchas del leopardo u otros dibujos.

En la construcción de gráficos, las concentraciones de cada "producto químico" calculadas por las ecuaciones se pueden traducir al valor de un elemento de la figura y emplear para matizar una imagen. La reacción-difusión es una adición a otros modelos, los fractales por ejemplo, que pueden emplearse para lograr efectos que remedan los naturales.

El grupo de Cornell espera que su trabajo pueda con el tiempo ser adoptado por los biólogos para simular la formación de patrones. Las razones son evidentes. Andrew P. Witkin, de Carnegie Mellon, recortó un trozo de una fotografía de una huella digital y usó luego la reacción-difusión para reconstruir los remolinos que faltaban. Los biólogos ignoran cómo se forman los dibujos en los animales; de ahí el interés del trabajo. Y, aunque el parecido visual entre la variedad de configuraciones producidas y las observadas es un tanto complejo, podría admitirse cierta relación.

Quizás el reto más difícil que opone el realismo físico resida en el movimiento natural. Aunque los mejores animadores de Hollywood pueden ya crear figuras gráficas dotadas de un movimiento semejante al de los seres vivos, muchos de esos personajes de ficción saltan artificiosamente de una posición a la siguiente.

Marc H. Raibert, del laboratorio de patas del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), y Jessica K. Hodgins, del Centro de Investigación Thomas J. Watson de IBM, han desarrollado un sistema de control que puede enseñar a canguros de una pata, robots de dos o cuatro patas y otras criaturas a correr, trotar, galopar o saltar. Especificando el camino que ha de seguir y la clase de paso que ha de dar el canguro, el animador se acerca más a la función del director de cine animado que a la del fisioterapeuta interesado por el movimiento de cada articulación.

El sistema de control se hace cargo de esta especificación. Enseña al canguro con qué velocidad se ha de mover y qué hacer para mantener el equilibrio y no caer de hocico. A la par, un modelo garantiza que las fuerzas aplicadas en las articulaciones produzcan el movimiento correcto. El cumplimiento estricto de las leyes físicas puede o no ser lo que uno pretendía. "Las máquinas, se dice, tienen sus caprichos, y unas se mueven y otras se obstinan como acémilas."

## *El jardín secreto*

El tronco del tejo del Pacífico, *Taxus brevifolia*, tarda cien años o más en alcanzar veinticinco centímetros de circunferencia. Es mucho esperar para un trozo de corteza. Pero ocurre que la envoltura leñosa de esa especie un tanto rara es, hoy por hoy, la única fuente de taxol, fármaco de notable éxito en el tratamiento del cáncer ovárico.

Se da por supuesto que el taxol mostrará también su eficacia en la curación de otros tumores, convirtiéndose en fármaco preciadísimo. Mas, para ello, habrá que fabricarlo en cantidades suficientes. Por desgracia, el compuesto encierra tal complejidad, que la mayoría de los laboratorios desesperan de poder sintetizarlo nunca por vía química. De ahí que algunos estén abriendo otro camino. Esperan obtener taxol de cultivos celulares del árbol.

El cultivo de células vegetales comparte muchos rasgos con las técnicas de fermentación usadas en la industria biotecnológica para sintetizar insulina y otras proteínas. Pese a ello, no se ha realizado todavía en las plantas el trabajo básico de cimentación que ha precedido a los cultivos bacterianos y de células de mamíferos.

El estadounidense Instituto Nacional del Cáncer se ha comprometido a recuperar el tiempo perdido, con la concesión reciente a Shuler y un consorcio de cinco miembros dirigido por él de una ayuda de 1,27 millones de dólares; subvención que permitirá desarrollar técnicas y equipo para la producción en masa de taxol mediante el cultivo de células de tejidos vegetales. Participan en el proyecto los departamentos de ingeniería química de Cornell y la Universidad estatal de Colorado, la unidad de investigación de protección de plantas del Servicio de Investigaicón Agrícola (ARS) del Departamento de Agricultura y las empresas Hauser Chemical Research y Phyton Catalytic.

Shuler confía en que en dos a cuatro años contemos con un sistema eficaz de cultivo industrial de tejidos que rindan taxol. De aquí a cinco años, las empresas podrían estar produciendo cantidades de taxol del orden del kilogramo. Bastarían unos 50 kilogramos de medicamento tan poderoso para tratar los 12.500 casos de cáncer de ovarios que se diagnostican en los Estados Unidos cada año. Pero habrá que fabricarlo en mayores cantidades si se demuestra su eficacia contra otros tumores y para abastecer la demanda mundial.

Son muchos los obstáculos técnicos a vencer antes de lograr el cultivo industrial. Al no habérsele considerado especie de interés comercial —a diferencia del roble o el castaño—, sabemos muy poco de la biología del tejo del Pacífico. Así lo reconoce Donna Gibson, experta en genética vegetal del ARS y adelantada de la síntesis de taxol a partir de cultivo celular. Su laboratorio ha centrado su área de investigación en la influencia de la genética y el medio en la cantidad de taxol que los tejos producen. Podrían ser condicionantes el tiempo de insolación y sombra, la edad y sexo. Del mayor interés podría resultar la zona del árbol que suministra las células. El consorcio concentrará sus esfuerzos en el tejido de las raíces, más que en la corteza. Y una vez se obtengan las líneas celulares desea-

das, los investigadores se dedicarán a modificar el entorno.

Con esas premisas, se procurará intensificar la síntesis de taxol. Se están diseñando las estrategias para conseguirlo; por ejemplo, provocando a las células con hongos, sus enemigos naturales. La planta responde al estímulo produciendo mayor cuantía de ciertos metabolitos. Cabe la posibilidad, no obstante, de que los patógenos que provocan la máxima respuesta de los tejos en la naturaleza no sean los más importantes en las tinas de producción, o biorreactores. De ahí que se ensayen otros medios.

Lo que estimula la producción y lo que estimula el crecimiento son, con frecuencia, mutuamente excluyentes. Debe aclararse, pues, cuándo hay que introducir en el biorreactor ciertos nutrientes y cuándo cortar el suministro de otros. No se olvide, además, que uno de los determinantes principales de la productividad de las células vegetales estriba en la propia disposición física de las células en el tanque, donde no deben flotar libremente, sino que han de permanecer inmovilizadas mediante membranas o perlas (de espuma o vidrio) para maximizar su productividad.

Lo mismo que ocurre en humanos con la regulación de la síntesis de hormonas, encontramos también en las plantas bucles de realimentación e inhibición; estimulan o suspenden la producción de ciertos metabolitos cuando se alcanza determinado nivel. Para aprovechar este mecanismo, se está buscando cómo eliminar de forma incesante del fermentador el taxol producido; en el método de absorción *in situ*, el compuesto deseado es capturado por una resina porosa a medida que se va sintetizando, lo que estimula, a su vez, el trabajo sintetizador de las células.

Cualquier avance en las técnicas extractoras será una mejora bien recibida, habida cuenta del complejo y laborioso proceso necesario para extraer de la corteza seca sólo el 0,01 a 0,03 por cien de taxol.

Entre las moléculas que sintetizan las células están los taxanos, cuya estructura es similar a la del taxol. Sería de desear que se cultivaran distintas líneas celulares, cada una capaz de producir en abundancia un taxano particular. Con una química diestra, esos taxanos podrían servir de precursores para el taxol. Tal posibilidad no ha escapado a la atención de Bristol-Myers Squibb, que, como otras empresas farmacéuticas, se encuentra más a gusto con la síntesis química y sus economías de escala. Bristol-Myers Squibb extrae en la actualidad el fármaco de la corteza y está subvencionando investigación para tratar de obtenerlo de las agujas

Realizar una síntesis parcial a partir de los taxanos podría resultar más económico que fabricar el taxol mismo, pero no si la única fuente es una provisión cada vez más escasa de árboles: una razón sobreañadida para primar el sistema de cultivo celular, aun cuando no sea la obtención de taxol puro el fin último. Además de su función precursora, algunos taxanos podrían ser incluso más eficaces que el propio taxol contra ciertos tipos de cánceres. Quién sabe el éxito de la síntesis de taxol no podría promover un cambio de atención hacia las plantas de crecimiento lento que esconden, farmacológicamente hablando, un auténtico tesoro.

# El ordenador del siglo XXI

*Los programas y dispositivos físicos especiales, conectados entre sí mediante cables, ondas de radio o infrarrojos, abundarán tanto que su presencia pasará inadvertida*

Mark Weiser

Las tecnologías que calan más hondo son las que se pierden de vista; su imbricación en la vida diaria es tan íntima que terminan por pasar inadvertidas. Pensemos en la escritura, la primera técnica de la información, quizá. La posibilidad de representar el lenguaje hablado mediante símbolos para su almacenamiento prolongado liberó a la información de las limitaciones de la memoria humana. Hoy en día se la encuentra por doquier en los países industrializados. No son sólo libros, revistas o periódicos los que transmiten información escrita; también lo hacen las señales de tráfico, los carteles de los comercios, las vallas publicitarias e incluso los *graffiti*. La constante presencia en el trasfondo de estos productos de la "tecnología literaria" no requiere ningún esfuerzo de atención; la información que transmiten puede usarse de un solo vistazo. Es difícil imaginar la vida moderna de otro modo.

Las tecnologías de la información basadas en el silicio, en cambio, están lejos de haberse incorporado al entorno. El hecho de que se hayan vendido más de 50 millones de ordenadores personales no ha sido suficiente para sacarlos de su propio mundo, al que sólo se accede utilizando una jerga complicada y carente de relación con las tareas para las que se los utiliza. Algo así como si, para escribir, nuestros antepasados hubieran tenido que saber además fabricar tinta o cocer barro.

El aura de misterio que envuelve a los ordenadores personales no es sólo un problema de relación, o interfaz, con el usuario. La propia idea de que el ordenador sea "personal" es ya errónea. Las mismas ensoñaciones sobre ordenadores portátiles, agendas y otros accesorios habituales constituyen una etapa transitoria hacia la consecución del verdadero potencial de las tecnologías informáticas. Ninguna de estas máquinas puede convertir la computación en parte integral e imperceptible de nuestras vidas. Lo que nosotros estamos intentando, pues, es concebir un nuevo modo de pensar sobre los ordenadores, que tenga en cuenta el mundo humano y permita que las máquinas se difuminen en su trasfondo.

Es la psicología humana, y no la tecnología, la que convierte en crucial tal desaparición. Cuando aprendemos algo hasta dominarlo, dejamos de prestarle atención; al mirar una señal de tráfico, absorbemos su información sin darnos cuenta de que estamos leyendo. Herbert A. Simon, economista, experto en ordenadores y premio Nobel, llama a este fenómeno "compilación"; el filósofo Michael Polanyi, "dimensión tácita"; los también filósofos Hans Georg Gadamer y Martin Heidegger, "horizonte" y "lo a la mano", respectivamente; el psicólogo J. J. Gibson, "invariantes visuales", y John Seely Brown, colega mío en el Centro de Investigación de Xerox en Palo Alto (PARC), "periferia". Lo que todos ellos quieren decir en el fondo es que sólo cuando las cosas sufren este tipo de desaparición podemos usarlas sin pensar en ellas y concentrarnos en otras metas.

Pensar en integrar los ordenadores de forma imperceptible con el mundo exterior es algo que va contra ciertas corrientes actuales. En tal contexto, para que el ordenador sea "ubicuo" no basta con que se le pueda llevar a la playa, a la selva o a un aeropuerto. El ordenador de bolsillo más potente, que tuviese acceso a un sistema de información universal, seguiría centrando nuestra atención sobre una caja individual. Si continuamos con la analogía de la escritura, llevar un superordenador portátil es como no tener más que un libro muy importante. Ni el hecho de poder configurarlo a nuestro gusto, ni siquiera el de que refleje millones de otros libros, dan una idea adecuada de las verdaderas posibilidades de la alfabetización.

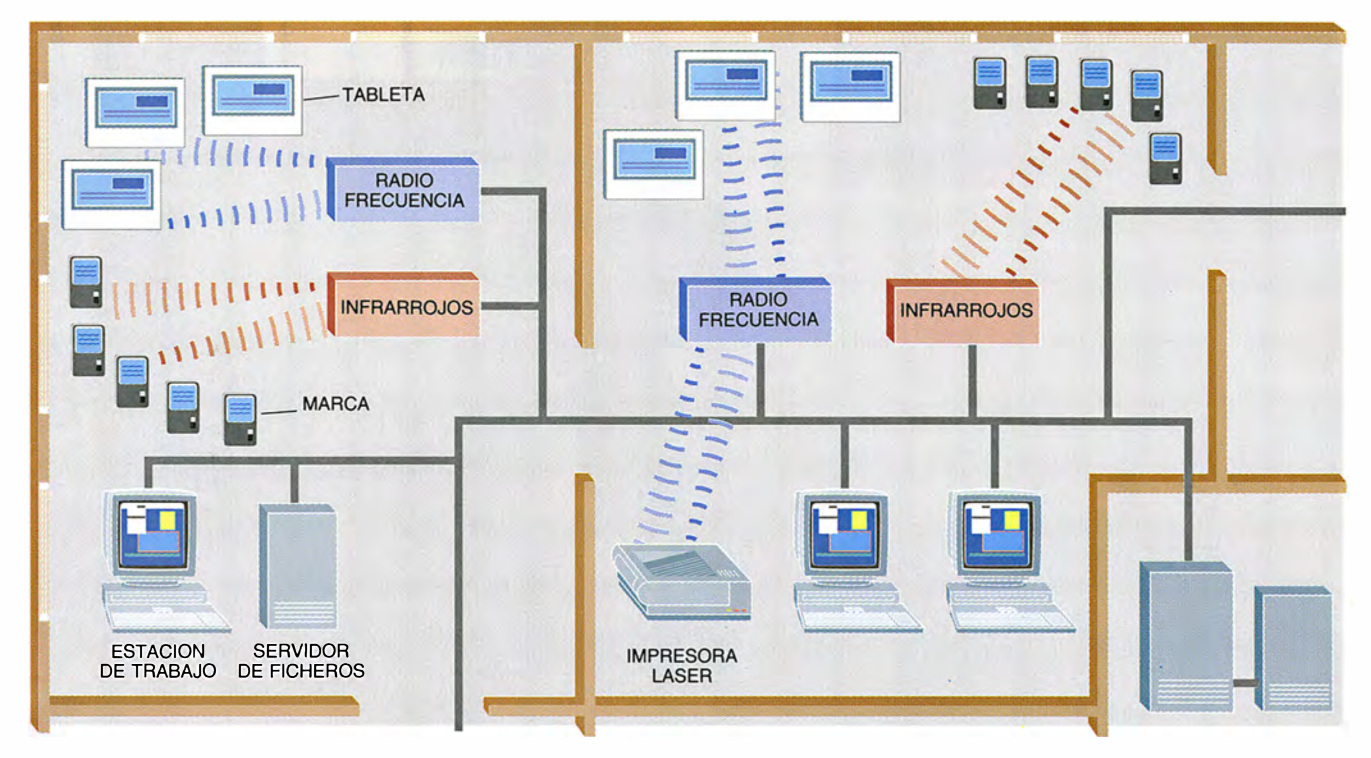
En la misma línea de razonamiento, que los ordenadores ubicuos puedan incorporar sonido e imagen a los gráficos y textos, no los equipara con "ordenadores multimedia", ya que éstos, en su forma actual, siguen haciendo de la pantalla un centro de atención tiránico, en vez de permitir su integración con el entorno.

Puede que lo más diametralmente opuesto a nuestras ideas sea el concepto de realidad virtual, que pretende crear un mundo dentro del ordenador. El usuario se coloca unas gafas especiales que proyectan una escena artificial sobre sus ojos; quizá también guantes e incluso ciertas prendas que captan sus movimientos y gestos de modo que pueda moverse dentro de ese mundo y manipular sus objetos virtuales. Aunque su propósito sea el de abrirnos la exploración de reinos inaccesibles —el interior de las células, la superficie de planetas lejanos, la trama de información de las bases de datos—, la realidad virtual es sólo un mapa, no es el territorio. No incluye las mesas, las oficinas, la otra

MARK WEISER dirige el laboratorio de ciencias de la computación en el Centro de Investigación de Xerox en Palo Alto (PARC). Trabaja sobre la nueva revolución del mundo de los ordenadores, posterior a las estaciones de trabajo, conocida como computación ubicua o virtualidad incorporada. Doctor por la Universidad de Michigan en 1979, antes de comprometerse con PARC enseñó informática en la Universidad de Maryland. Disfruta escribiendo programas. Su investigación técnica más reciente se relaciona con la aplicación de nuevas teorías sobre la recuperación automática de memoria de ordenadores, lo que en el gremio se conoce por recogida de basura.




**1. LA COMPUTACION UBICUA empieza a aparecer en forma de pizarras activas, que reemplazan a las tradicionales, y otros dispositivos. En el Centro de Investigación de Xerox en Palo Alto, los técnicos se reúnen a trabajar en torno a una de ellas. El esfuerzo de construir e integrar todas estas herramientas les permite aclarar su idea de la computación ubicua. Estas pizarras pueden amoldar al usuario la información que presentan.**




**2. REDES CABLEADAS E INALAMBRICAS enlazan los ordenadores y permiten compartir programas. El conjunto aquí representado incluye terminales corrientes, servidores de ficheros, máquinas de bolsillo, llamadas marcas, y otras de tamaño folio denominadas tabletas. Las redes del futuro habrán de trabajar con cientos de estos dispositivos alojados en una misma sala, así como con otros que podrán cambiar de ubicación.**

gente que no lleve los anteojos o la vestimenta apropiada, el tiempo, los árboles, los paseos, las posibilidades de encuentro ni, en general, la infinita riqueza del universo. La realidad virtual utiliza un enorme aparato para simular el mundo, pero no potencia, de la forma más discreta posible, el mundo ya existente.

Es más, la contraposición entre las nociones de realidad virtual y de computación ubicua e invisible es tan grande que algunos de nosotros usamos el término "virtualidad incorporada" para referirnos al proceso de sacar a los ordenadores de sus carcasas electrónicas. La "virtualidad" de los datos informáticos —las mil diferentes formas en que pueden alterarse, procesarse y analizarse— se lleva al mundo físico.

¿Cómo se difuminan las tecnologías en el entorno? El caso de los motores eléctricos puede servirnos de ejemplo instructivo. A comienzos de siglo, un taller o fábrica típicos poseían un solo motor que impulsaba docenas o quizá cientos de máquinas distintas a través de un sistema de ejes y poleas. La aparición de motores eléctricos pequeños, baratos y eficaces, hizo posible, en un primer paso, que cada herramienta tuviese su propia fuente de fuerza motriz y, más tarde, que una sola máquina contase con muchos motores.

Un vistazo al manual de uso y mantenimiento de, por ejemplo, un automóvil hace aparecer unos 22 motores y 25 relés, con los que se arranca el motor, se limpian los parabrisas, se abren y cierran puertas, etcétera. Si el conductor prestase especial atención, podría darse cuenta del momento en que activa cada uno de estos motores, aunque no obtendría gran ventaja de ello.

La mayoría de los ordenadores que participen en lo que hemos llamado "virtualidad incorporada" serán invisibles de hecho, y no sólo metafóricamente. Esto ya sucede con los procesadores incorporados en los mandos de luminosidad, termostatos, equipos de música y hornos, que pueblan y automatizan el mundo doméstico. Estas máquinas, junto con otras, estarán interconectadas en un sistema ubicuo. Mis colegas y yo nos hemos centrado en aquellos dispositivos que transmiten y presentan la información de forma más directa. Y hemos visto que hay dos cuestiones básicas: la ubicación y el tamaño. Pocas cosas resultan tan fundamentales a la percepción humana como la disposición física, por lo que los ordenadores ubicuos deberán saber dónde están (mientras que los actuales no tienen ni idea de dónde se encuentran ni de lo que les rodea). Basta con que un ordenador sepa en qué habitación se halla para que pueda adaptar su comportamiento, sin que esto requiera ni una pizca de inteligencia artificial.

Los ordenadores ubicuos serán de distintos tamaños, según la tarea específica a que se destinen. Nosotros hemos construido los que llamamos "marcas", "tabletas" y "pizarras" (*tabs*, *pads* y *boards*, respectivamente). Las marcas son máquinas de unos cuantos centímetros, que podrían equipararse a etiquetas adhesivas activas; las tabletas, de algunos decímetros, tienen una función parecida a una hoja de papel (a un libro o una revista); y, por último, las pizarras tienen el tamaño y funciones usuales de un encerado o tablón de anuncios.

¿Cuántas superficies comparables se encuentran en una habitación normal? Para saberlo, mire a su alrededor; en el primer grupo deberá incluir los avisos de las paredes, los títulos del lomo de los libros, los rótulos de mandos, termostatos y relojes, sin olvidar las anticuadas notas en trocitos de papel. Depende de la habitación, pero puede que encuentre más de 100 marcas, de 10 a 20 tabletas y una o dos pizarras. Esto nos proporciona una idea del despliegue de máquinas necesario para nuestros propósitos de virtualidad incorporada: cientos de ordenadores por habitación.

Puede que sintamos cierto desasosiego inicial al oír hablar de cientos de ordenadores en una estancia, parecido al que produjeron en su día los

cientos de volts en los cables eléctricos de las paredes. Pero, como en este último caso, los ordenadores acabarán por resultar imperceptibles. La gente se limitará a utilizarlos de manera inconsciente para realizar las tareas cotidianas.

Las marcas son los componentes mínimos de la virtualidad incorporada. Su interconexión aumentará la utilidad de los ordenadores actuales de su misma escala, las calculadoras y agendas de bolsillo, al tiempo que ejecutarán funciones que ningún ordenador realiza hoy en día. Por ejemplo, en PARC y en laboratorios de investigación de otros lugares del mundo ha empezado a trabajarse con insignias activas, pequeños ordenadores pinzables del tamaño de las fichas de identificación de un empleado, desarrollados inicialmente en el laboratorio de investigación de Olivetti en Cambridge. Estas tarjetas se dan a conocer a los receptores distribuidos por un edificio, lo que permite seguir la pista de las personas u objetos que los portan.

En nuestra instalación experimental, las puertas se abren solamente ante las personas adecuadas, las habitaciones les dan la bienvenida por su nombre, las llamadas telefónicas se reciben automáticamente allí donde se encuentre su destinatario, los recepcionistas saben dónde está cada cual, los terminales de ordenador se amoldan a las preferencias del usuario y las agendas se actualizan solas. El caso de la agenda automática revela las diversas ventajas que puede proporcionar algo tan simple como saber dónde se encuentra cada uno: una reunión, por ejemplo, consiste en que varias personas pasan cierto tiempo en una misma habitación, mientras que su temática tendrá que ver muy probablemente con los ficheros que se ha hecho aparecer en la pantalla allí existente. No se requiere ninguna revolución en inteligencia artificial; basta con ordenadores imbricados en la vida cotidiana.

Mi colega Roy Want ha diseñado una marca que incorpora una pequeña pantalla, gracias a la que puede servir a la vez como insignia activa, calendario y agenda. También puede funcionar como extensión de las pantallas de ordenadores: en lugar de concentrar la ventana de un programa en un pequeño icono de pantalla, el usuario podrá traspasarla a la presentación de una marca, quedando así más libre la pantalla principal y pudiendo disponerse los trabajos informáticos alrededor de los terminales al modo en que ahora se distribuyen los documentos de papel sobre los escritorios. Llevar un asunto a otro despacho para comentarlo es cosa para la que basta con recoger las marcas que lo forman; los programas y ficheros asociados pueden reclamarse desde cualquier terminal.

El tamaño siguiente es la tableta, algo así como un híbrido entre un folio y los actuales ordenadores que caben en el regazo o en la palma de la mano. Robert Krivacic, del PARC, ha construido un prototipo de tableta que utiliza dos microprocesadores, una pantalla como las de las estaciones de trabajo habituales, una pluma multibotón y una red de comunicación por radio que tiene canales suficientes para que puedan funcionar cientos de dispositivos por persona y habitación.

Las tabletas difieren de los ordenadores portátiles al uso en un aspecto crucial. Mientras estos últimos van de un lado a otro con sus propietarios, una tableta que deba llevarse consigo es un fracaso. Las tabletas se han concebido como ordenadores mostrencos, equiparables al papel en blanco disponible en las mesas de reunión; carecen de identidad y relevancia y se las encuentra y usa allí donde se necesite.

También pueden concebirse las tabletas como una especie de antídoto contra las ventanas. Las ventanas se inventaron en PARC, y Apple las popularizó con el Macintosh; su propósito era permitir la convivencia simultánea de varias actividades diferentes en el pequeño espacio que ofrece la pantalla de un ordenador. En los últimos veinte años, las pantallas no han crecido de modo apreciable. Se dice que los sistemas de ventanas son una metáfora de los es-

## La insignia activa

Este precursor de los ordenadores mínimos contiene un microprocesador y un emisor de infrarrojos. La insignia actúa radiando la identidad de su portador, de modo que puede abrir puertas automáticamente, traspasar llamadas telefónicas o amoldar la información presentada en una pantalla a la persona que la consulta. Pertenece al grupo de pequeños ordenadores llamados marcas.



critorios; pero, ¿quién usaría nunca una mesa de 25 cm de largo por 18 de fondo?

Por el contrario, las tabletas utilizan un escritorio real. Extienda usted muchas tabletas electrónicas sobre su mesa de trabajo, igual que lo hace con sus papeles. Tenga a la vista varias tareas y utilice las tabletas como recordatorio. Y no se limite a la mesa; colóquelas en cajones, estanterías, mesas auxiliares. Disponga frente a sí las diversas partes de los asuntos de la jornada de la forma más adecuada a cada uno y a su comodidad, sin verse constreñido por un vidrio fosforescente. Puede que algún día las tabletas se vuelvan tan delgadas y ligeras como las actuales hojas de papel, pero entretanto pueden desempeñar las funciones de los folios mucho mejor que las pantallas de los ordenadores.

Las presentaciones mayores todavía, nuestras pizarras, sirven para multitud de propósitos: en el hogar, como monitores de vídeo y tablones de anuncios; en la oficina, como tablones de anuncios, encerados o expositores. También podrían usarse como estantería electrónica a la que acudir para cargar textos en un tableta o en una marca. A pesar de todo, la posibilidad de coger un libro y colocarlo cómodamente en nuestro regazo sigue siendo uno de los principales atractivos del papel. Objeciones similares pueden plantearse a la utilización de una pizarra como mesa de trabajo. Tendremos que acostumbrarnos a ver tabletas y marcas depositadas sobre la mesa como accesorios de la pantalla de ordenador antes de que pueda pretenderse extender más la virtualidad incorporada.

En varios laboratorios de investigación de la empresa Xerox se utilizan prototipos de pizarras, construidos por Richard Bruce y Scott Elrod de PARC. Miden aproximadamente 100 por 150 cm y presentan 1024 por 768 pixeles en blanco y negro. Para manejarlas se utilizan trozos de "tiza" electrónica inalámbrica, que funcionan unas veces por contacto con la superficie de la pizarra y otras a cierta distancia. Varios investigadores se han prestado a hacer de conejillos de Indias y celebran reuniones electrónicamente asistidas con sus colegas o ensayan otras formas de colaboración en torno a una pizarra activa. Hay quienes prueban con ellas mejoras de los dispositivos físicos de presentación, nuevas tizas electrónicas o programas interactivos.

Existen razones, unas obvias otras más sutiles, para que la programación que gobierna una gran pantalla colectiva y su tiza electrónica se distinga de la empleada en una estación de trabajo. La alternancia entre el uso de la tiza y el teclado puede requerir varios pasos, lo que la aleja cualitativamente de la habitual coexistencia entre teclado y ratón. También hay que tener en cuenta la altura del usuario: porque no todo el mundo llegará a la parte superior de la pizarra, las barras de opciones deberán aparecer en la inferior.

Hemos construido los suficientes de estos ingenios como para permitir su uso despreocupado: se han colocado en salas de reuniones y zonas comunes, y no se requieren autorizaciones o avisos previos para utilizarlos. Su construcción y manejo hace que los investigadores empiecen a vivir y comprender un mundo en el que la interacción informal con los ordenadores realza cualquier espacio. Las pizarras activas no sólo pueden compartirse dentro de una misma habitación, sino también desde varias al



**3. USO DE LAS TABLETAS para ampliar la pantalla normal de un ordenador en esta oficina del Centro de Investigación de Xerox en Palo Alto. Estos prototipos están conectados al ordenador mediante cables, ya que hasta ahora tan sólo se han construido unos cuantos modelos inalámbricos.**

tiempo. Experimentos dirigidos por Paul Dourish, de Euro PARC, y Sara Bly y Frank Halasz, de PARC, han permitido a grupos situados en lugares muy alejados reunirse en torno a pizarras que presentaban todas la misma imagen y elaborar planos y dibujos conjuntamente. Se ha llegado a compartir pizarras a ambos lados del Atlántico.

Las pizarras sirven de tablón de anuncios. Ante la avalancha de información escrita que nos rodea, Marvin Theimer y David Nichols, de PARC, han diseñado y construido un sistema prototipo que adapta su información pública a la persona que la está leyendo. Para conseguirlo, lo único que tiene que hacer el usuario es llevar puesta su correspondiente insignia activa y mirar.

Los prototipos de marcas, tabletas y pizarras son sólo el comienzo de lo que será la computación ubicua. Las verdaderas posibilidades de la idea no residen en ninguno de estos dispositivos, sino más bien en su interacción. Los cientos de procesadores y visualizadores no son una interfaz con el usuario comparable a ratones y ventanas, sino un ámbito cómodo y eficaz donde hacer las cosas.

Más novedosa y útil será la capacidad de las marcas para animar objetos hasta ahora inertes, ya que podrían ayudar a localizar, mediante pitidos, papeles, libros o cualquier otro objeto descabalado. Los archivadores se abrirían solos y mostrarían la carpeta deseada sin necesidad de búsqueda. Su utilización en los catálogos de las bibliotecas podría crear mapas activos que guiasen al usuario hasta el libro solicitado, aunque no se halle en su correspondiente estante porque el último lector descuidado lo olvidó sobre una mesa.

En conferencias e informes públicos no habrá que conjeturar el tamaño que deba tener el texto de las transparencias proyectadas, el volumen de la voz amplificada o el nivel de luz ambiental, ya que serán los deseos de los asistentes quienes los determinen. Algunas salas de reuniones electrónicas de grandes compañías disponen ya de programas para el recuento instantáneo de votos y la comprobación de mayorías; las marcas pueden contribuir a difundirlo.

La técnica requerida para la ubicuidad en los recursos informáticos consta de tres partes básicas: ordenadores baratos y de bajo consumo con visualizadores parejos; programas de ejecución ubicua y una red que lo unifique todo. Las tendencias que se perciben hoy en día hacen pensar que el primer requisito será fácil de lograr. Los visualizadores planos monocromos con una resolución de 640 × 480 puntos ya resultan habituales; es el tamaño estándar de los ordenadores personales y también puede aceptarse para pantallas de televisión. La creciente popularidad de los ordenadores portátiles y de bolsillo abaratará los precios de los visualizadores, a la vez que aumentarán su calidad y resolución. Hacia finales de siglo se dispondrá de pantallas de gran contraste, resolución de 1000 × 800 puntos, grosor inferior al centímetro y peso de unos 100 gramos. Una pequeña batería será suficiente para conseguir varios días de uso ininterrumpido.

Los visualizadores mayores son harina de otro costal. Para que la pantalla de un ordenador interactivo pueda desempeñar las funciones de una pizarra debe dejarse contemplar de cerca y de lejos. La visión cercana requiere que la densidad de los elementos de la imagen no sea inferior a la de una pantalla corriente de ordenador, que tiene unos 30 por centímetro. Conservar esta relación en un área de más de un metro cuadrado supone la presentación de decenas de millones de píxeles. La mayor pantalla fabricada hasta la fecha no va más allá de un cuarto de tal magnitud.

Alimentar a estos visualizadores grandes exigirá microprocesadores avanzados. La velocidad de las unidades de proceso alcanzó el millón de instrucciones por segundo en 1986 y sigue duplicándose anualmente. Para algunos expertos, el crecimiento exponencial de la velocidad bruta de estos circuitos puede comenzar a detenerse allá por 1994, aunque otras características de funcionamiento, como el consumo y las funciones auxiliares, no cesarán de mejorar. Cabe, pues, que la pantalla plana de 100 gramos sea gobernada por un microprocesador capaz de ejecutar mil millones de operaciones por segundo, que disponga de 16 megabytes de memoria incorporada y de interfaces para sonido, vídeo y red. El consumo medio del procesador sólo sería una pequeña fracción de la potencia requerida por la pantalla.

Dispositivos adicionales de almacenamiento aumentarán la capacidad de la memoria principal. De acuerdo con el estado actual de la técnica, las predicciones más conservadoras permiten suponer que discos duros extraíbles (o pastillas de memoria no volátil), del tamaño de una caja de cerillas, puedan almacenar hasta 60 megabytes. Serán normales discos mayores, dispuestos para contener va-

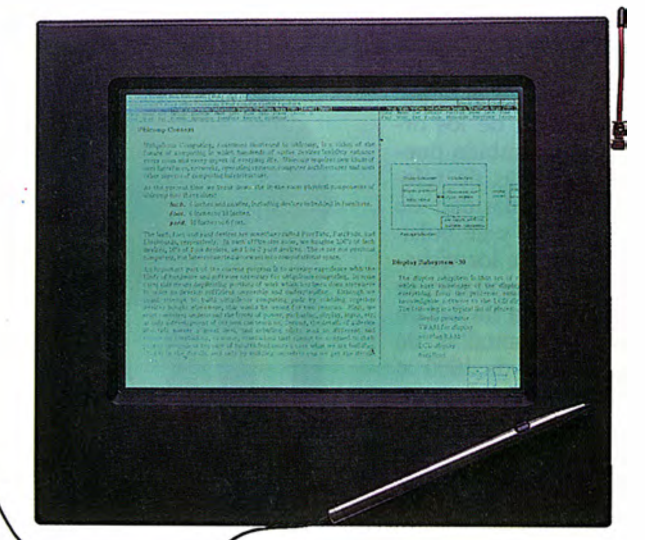


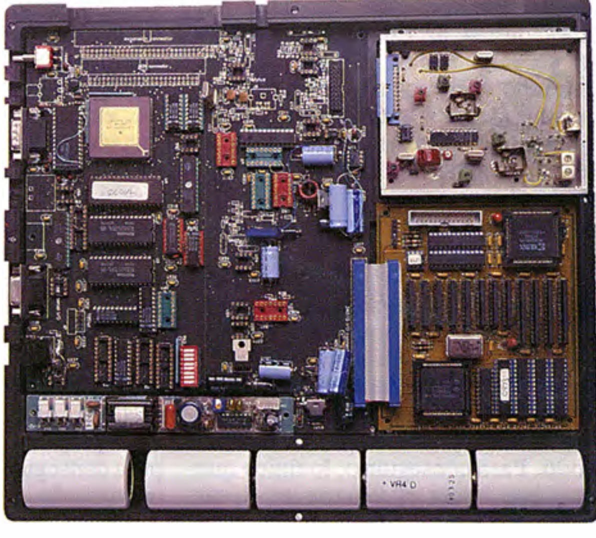
**4. UN TRANSCEPTOR DE RADIO sirve de enlace entre las tabletas y demás dispositivos móviles y la red cableada. Esta unidad, pensada para su instalación en el techo, tiene antenas en sus brazos cruzados; dos diodos emisores de luz indican su estado.**

rios gigabytes, e incluso dispositivos en los que quepan terabytes —más o menos toda la información de la biblioteca del Congreso estadounidense— no constituirán ninguna rareza. Tampoco se requerirá que tan enormes almacenes contengan sólo información útil. Por el contrario, la abundancia de espacio permitirá enfoques muy diferentes de los actuales sobre su gestión; así por ejemplo, una capacidad de un terabyte hará prácticamente innecesario borrar los ficheros antiguos.

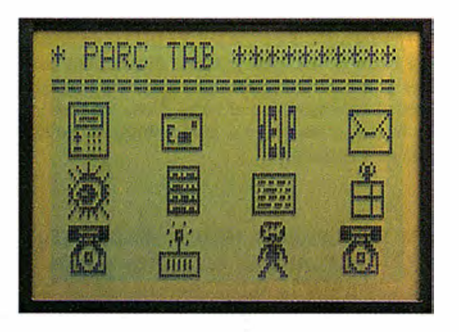
Procesadores y visualizadores deberían ofrecernos un uso ubicuo de los recursos informáticos dentro de pocos años, pero la previsible evolución de los programas y la tecnología de redes resulta más problemática. Todo lo que han conseguido las actuales realizaciones de computación distribuida ha sido hacer que servidores de ficheros, impresoras y otros dispositivos parezcan estar conectados directamente al ordenador de cada usuario, sin que esta perspectiva haga nada por aprovechar las oportunidades que ofrecen los ordenadores diseminados por el espacio, ni la información resultante de saber dónde está un elemento.

Han de producirse modificaciones drásticas de los sistemas operativos de los ordenadores y de los programas de presentación organizados por medio de ventanas. El diseño de los sis-





5. **COMPONENTES CLAVE de la computación ubicua son las tabletas y marcas que se están desarrollando en PARC. La tableta es del tamaño de un folio; las fotografías superiores ofrecen su aspecto exterior e interior. Tiene dos microprocesadores, una memoria de acceso aleatorio de cuatro millones de bytes, un enlace de radio rápido, una interfase de gran resolución para lápiz electrónico y una pantalla monocroma de 1024 por 768 píxeles. Utiliza una programación de ventanas estándar, por lo que puede comunicarse con la mayoría de estaciones de trabajo. La marca (*a la izquierda*) es mucho más pequeña, 7 por 8 cm, y tiene tres botones de control, un lápiz electrónico, un emisor de audio y un enlace de infrarrojos para comunicarse a través de una sala. El autor opina que las habitaciones y oficinas del futuro contendrán cientos de estos pequeños ordenadores.**




temas operativos corrientes, digamos DOS y Unix, da por supuesto que la configuración física y lógica del ordenador no sufrirá cambios sensibles mientras esté funcionando; ello, razonable en el caso de los ordenadores personales y de las grandes unidades centrales al uso, carece de sentido en el marco de la computación ubicua. Marcas, tabletas y hasta pizarras pueden entrar y salir de cualquier habitación en cualquier momento, y será imposible desconectar todos los computadores de una estancia para instalar un nuevo programa en uno de ellos, entre otras cosas porque puede que sea imposible localizarlos a todos.

Una posible solución serían los sistemas operativos de "micro-núcleo", como los desarrollados por Rick Rashid, de la Universidad Carnegie Mellon, o A. S. Tanenbaum, de la Universidad Vrije de Amsterdam. Estos sistemas experimentales presentan un mínimo andamiaje de programación fija; los módulos adicionales que realizan funciones específicas se añaden o eliminan con facilidad. Si los futuros sistemas operativos siguiesen este principio, su tamaño aumentaría o se reduciría automáticamente de acuerdo con las cambiantes necesidades de la computación ubicua.

Los actuales sistemas de presentación basados en ventanas tampoco se adaptan a ellas, ya que suelen dar por sentado que toda la información correspondiente a una aplicación concreta aparecerá en la pantalla de un solo ordenador. Por ejemplo, los sistemas X Windows y Windows 3.0 atienden a varias pantallas, pero no funcionan bien con aplicaciones que arranquen en una para pasar luego a otra, por no hablar de las que quieran cambiar de ordenador o de habitación.

Las soluciones a este problema apenas empiezan a echar a andar. Ningún sistema actual funcionaría bien si hubiera de trabajar con toda la variedad de estructuras de entrada y salida que exige la virtualidad incorporada. Hacer que tabletas, marcas y pizarras cooperen armoniosamente requerirá cambios en los tipos de protocolos usados por los programas de aplicación y las presentaciones en pantalla para comunicarse.

Exigencias adicionales se le plantean a la red que ha de conectar máquinas y programas ubicuos. Las velocidades de transmisión de las redes, tanto cableadas como inalámbricas, crecen rápidamente. Ya puede accederse a redes cableadas que mueven gigabits por segundo; son caras, pero se irán abaratando con el tiempo. Estas redes veloces raramente dedicarán todo su ancho de banda a un solo haz de datos; facilitarán, por contra, un gran número de transmisiones simultáneas a menor velocidad. Pequeños sistemas inalámbricos, basados en los principios de la telefonía digital celular, ofrecen ahora velocidades de transmisión entre 2 y 10 megabit por segundo y un alcance de algunos cientos de metros. En el futuro, el mercado ofrecerá redes inalámbricas de pequeña potencia capaces de transmitir 250.000 bits por segundo a cada estación.

Sin embargo, el problema de vincular de modo flexible y sencillo los sistemas con y sin cables sigue sin encontrar solución. Aunque se han desarrollado algunos métodos *ad hoc*, los ingenieros habrán de elaborar nuevos protocolos de comunicaciones que admitan explícitamente el concepto de máquinas que se mueven en el espacio físico. Es más, el número de canales previstos en la mayoría de los esquemas de redes inalámbricas es todavía muy reducido, mientras que el alcance excesivo (de 50 a 100 metros) restringe mucho el número total de dispositivos móviles permisibles. En suma, tales sitemas no tienen ninguna posibilidad de asimilar cientos de máquinas en cada habitación. Hay redes para cubrir una sala que utilizan radiación infrarroja o las más recien-

tes técnicas electromagnéticas; ofrecen suficientes canales para la computación ubicua, pero de momento sólo funcionan de puertas adentro.

La tecnología actual requeriría que cualquier dispositivo móvil incorporase conexiones a tres redes diferentes: una inalámbrica de corto alcance; otra, también inalámbrica, de largo alcance; y una tercera, con cable, de gran velocidad. Todavía está por inventarse un modo de conexión que atienda, él solo, las tres funciones.

Ni la explicación de los principios de la computación ubicua ni la enumeración de las técnicas que implica pueden darnos una idea de lo que sería vivir en un mundo lleno de artilugios invisibles. Si tratásemos de extrapolar a partir de los rudimentarios fragmentos de virtualidad incorporada de que hoy disponemos, sería algo así como intentar predecir la publicación de *Cinco horas con Mario* justo después de haber garabateado la primera tableta de arcilla. Hagámoslo, sin embargo; puede que el esfuerzo merezca la pena:

Sole abre los ojos y puede oler el aroma del café. Hace pocos minutos que su despertador, alertado por sus intranquilos movimientos previos a la vigilia, le había preguntado en voz baja:"¿café?", y ella había murmurado "sí". "Sí" y "no" son las palabras que el despertador reconoce.

Sole echa una mirada a las ventanas que tiene cerca. A través de una de ellas ve la luz del sol y una valla; otras le muestran los rastros electrónicos dejados por el ir y venir de sus vecinos esta mañana. Las normas relativas a la intimidad personal, así como razones prácticas de coste, excluyen una representación completa en vídeo, pero los marcadores de tiempo y las trazas electrónicas sobre el mapa del vecindario hacen que Sole se sienta cómoda en su calle.

Un vistazo a las ventanas de las habitaciones de los niños le permite saber que hace entre 15 y 20 minutos que se han levantado y que están ya en la cocina. Al darse cuenta de que ella también está despierta, empiezan a hacer más ruido.

Durante el desayuno, Sole lee los periódicos. Como la mayoría, los prefiere en su versión de papel. Encuentra un párrafo interesante en la sección de negocios. Saca el bolígrafo y lo pasa sobre el nombre del periódico, la fecha, la sección y el número de página; y acaba rodeando la información con un círculo. El bolígrafo envía un mensaje al periódico, quien deriva la información a la oficina de Sole.

Le llega un envío electrónico de la compañía que fabricó el mecanismo de apertura de la puerta del garage. Había perdido el manual y les pidió ayuda. Le envían uno nuevo junto con algo inesperado: la forma de encontrar el anterior. Según la nota, si introduce cierto código en el mando automático, el manual se encontrará a sí mismo. En efecto, una vez dentro del garage, un pitido la conduce hasta el punto en que el viejo manual manchado de aceite cayó detrás de unas cajas. Desde luego, allí está también la pequeña marca que el fabricante adosó a la cubierta en un intento de evitarse reclamaciones como la suya.

De camino al trabajo, Sole echa una ojeada al previsor para saber cómo está el tráfico. Se percata de que le espera un embotellamiento y también del rótulo de una nueva cafetería en una calle lateral. Decide tomar la próxima salida y saborear una taza de café al tiempo que evita la retención.

Llegada a su destino, el propio previsor le ayuda a encontrar rápidamente un sitio donde estacionar. A medida que avanza por el edificio, las máquinas de su oficina se van preparando para su llegada, pero no completan la secuencia de operaciones hasta que no pisa el despacho. Por el camino, se para junto a las oficinas de cuatro o cinco colegas para intercambiar saludos y noticias.

Sole mira sus ventanas. Las predicciones meteorológicas son de un día gris, con el 75 por ciento de humedad y un 45 por ciento de probabilidad de chaparrones esta tarde. La oficina principal, situada en el otro extremo del continente, ha tenido una mañana tranquila; lo habitual es que, a estas horas, el indicador de actividades señale al menos una reunión urgente e imprevista.

Toma en sus manos una marca y la apunta hacia su amigo Juan, del grupo de diseño. Participan en un trabajo conjunto y han estado compartiendo una oficina virtual durante algunas semanas. La colaboración puede adoptar diferentes formas, pero, en este caso, la realizan mediante el acceso indistinto a los respectivos detectores de localización y al contenido de sus pantallas. Ella prefiere tener a la vista una versión en miniatura de todas las marcas y tabletas de Juan gracias a una pequeña colección tridimensional de marcas dispuesta en el rincón de su mesa. Los detalles son indiscernibles, pero se siente más implicada en su actividad al notar que los visualizadores cambian; si le interesa, en cualquier momento puede ampliar lo que desee.

Una marca libre emite un pitido y muestra la palabra "Juan". Sole la coge y apunta con ella hacia la pizarra. Juan quiere comentar con ella un documento, que aparece en la pizarra mientras suena la voz de Juan:

—He estado luchando con el tercer párrafo toda la mañana, pero sigue sin gustarme. ¿Te importaría leerlo?

Reclinada en su silla, Sole lee el párrafo en cuestión y quiere destacar una palabra. Utiliza de nuevo la marca "Juan" para activar una tableta accesible y traza una curva alrededor de la palabra con su lápiz, mientras dice:

—Creo que es este término: ubicuo. No es muy corriente y hace que todo suene demasiado serio. ¿No podríamos cambiar la frase?

—Lo intentaré. Por cierto, Sole, ¿has tenido noticias de María Rey?

—No. ¿Quién es?

—Haz memoria. Estuvo en la reunión de la semana pasada. Me dijo que intentaría ponerse en contacto contigo.

Sole no consigue acordarse de María, pero tiene un vago recuerdo de la reunión. Inicia una búsqueda entre las reuniones que tuvieron lugar en las dos últimas semanas con más de seis personas que ella no conociera de alguna reunión anterior, y encuentra la adecuada. Aparecen los nombres de los asistentes y, entre ellos, el de María.

Como suele hacerse en las reuniones, María proporcionó a los restantes asistentes un pequeño esbozo biográfico de sí misma, que le ofrece a Sole una base para enviarle una nota y ver de qué se trata. Es de agradecer que esta información continúe disponible, no como la de otros compañeros que sólo puede consultarse durante la propia reunión...

Esta escenificación apunta algunas de las formas en que los ordenadores pueden incorporarse a la vida cotidiana de modo imperceptible, pero también deja entrever algunas cuestiones litigiosas generadas por la virtualidad incorporada. Quizá la fundamental sea la de la intimidad: cientos de ordenadores en cada habitación, capaces de reconocer la presencia de seres humanos en sus proximidades y conectados unos a otros por sistemas de gran velocidad, pueden hacernos pensar que lo que hoy consideramos totalitarismo no es sino un juego de niños. Del mismo modo que puede programarse una estación de trabajo de una red local para que intercepte

mensajes destinados a otros, bastaría con que hubiera una sola marca alcahueta en una sala para registrar todo lo que en ella ocurriera.

Incluso las actuales insignias y agendas activas, tan convenientes para su dueño, pueden convertirse en armas peligrosas en manos inadecuadas. Aparte de los jefes o subordinados de la empresa, otros entes mercantiles o funcionarios públicos que se excedan en sus atribuciones podrían hacer uso inapropiado de la misma información que hace útiles los ordenadores invisibles.

Por fortuna, ya existen métodos criptográficos que permiten asegurar los mensajes que se envían de un ordenador ubicuo a otro y proteger la información privada contenida en las redes. Si se cuenta con ellas desde el comienzo del diseño, estas técnicas garantizan que los datos privados no se harán públicos. Una versión bien realizada de la computación ubicua podría proporcionar una protección a la intimidad aún mejor que la actual.

La virtualidad incorporada, al relegar los ordenadores al trasfondo, hará resaltar la individualidad de quienes se encuentran en los extremos del entramado informático, lo que podría contrarrestar las malsanas fuerzas centrípetas inducidas por los ordenadores personales en la vida y el trabajo cotidianos.

Ya en la actualidad, la gente se mete en una oficina sin ventanas, pone en marcha su ordenador y puede que no vea a los compañeros de trabajo en todo el día. La realidad virtual hace que el mundo exterior y todos sus habitantes dejen de existir. Los computadores ubicuos, por el contrario, residen en el mundo humano y no imponen barreras a las relaciones humanas. Es más, la sencillez de las conexiones que ofrecen entre distintos lugares y momentos puede ayudar a aproximar las comunidades humanas.

Nosotros creemos que lo que designamos como computación ubicua se irá convirtiendo en la forma predominante de acceso al ordenador en los próximos veinte años. No se trata de nada radicalmente nuevo, como no lo eran los ordenadores personales, pero modificará nuestras ideas sobre lo que es posible, ya que todo resultará más rápido y más fácil al exigir menos tensión y contorsiones mentales. La llamada edición electrónica, por ejemplo, no difiere mucho de la composición ayudada por ordenador, que se remonta a mediados de los años sesenta; es la distinta facilidad de uso lo que las singulariza tanto.

Cuando casi todos los objetos contengan un ordenador o se les pueda adherir una marca, obtener información será muy sencillo. "¿Quién ha hecho este vestido? ¿Hay en la tienda? ¿De qué diseñador era el traje aquel que me gustó la semana pasada?" Un entorno de ordenadores puede saber cuál es el traje que uno estuvo mirando tanto rato la semana pasada, ya que dispone de las ubicaciones de ambos, y puede encontrar el nombre del diseñador aunque entonces no se solicitó tal información.

Desde el punto de vista sociológico, el ordenador ubicuo puede significar el declive del adicto a los ordenadores, del mismo modo que, tras el furor suscitado por los receptores de galena en los decenios segundo y tercero de este siglo entre quienes querían participar en la nueva alta tecnología de la radio, la disponibilidad general de aparatos de calidad acabó con el arte de pinchar galenas. Por otro lado, puede que la virtualidad incorporada lleve el ordenador hasta los presidentes de empresas y países, quizá por vez primera. El acceso a los ordenadores se extenderá a todos los grupos sociales.

Tal vez lo más importante sea que la computación ubicua ayudará a superar el problema de la sobrecarga de información. Un paseo por el bosque nos ofrece más información que cualquier sistema informático, a pesar de lo cual la caminata nos parece relajante y los ordenadores frustrantes. Las máquinas que consigan ajustarse al entorno humano en lugar de obligar a las personas a entrar en el mundo de la computación harán que su uso resulte tan agradable como un paseo por los pinos.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA


THE TACIT DIMENSION. Michael Polanyi. Doubleday & Company, 1966.

TOWARD PORTABLE IDEAS. Mark Stefik y John Seely Brown en *Technological Support for Work Group Collaboration*. Dirigido por Margrethe H. Olson. Lawrence Erlbaum Associates, 1989.

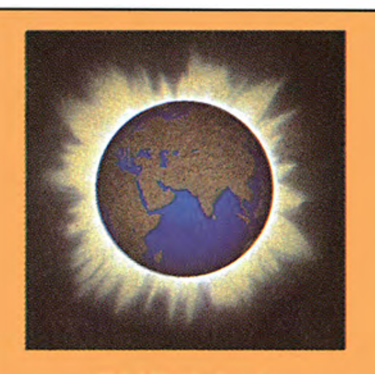
RECENT DEVELOPMENTS IN OPERATING SYSTEMS. Volumen monográfico de *Computer* (*IEEE Computer Society*), vol. 23, n.° 5; mayo de 1990.

ACTIVITY-BASED INFORMATION RETRIEVAL:TECHNOLOGY IN SUPPORT OF HUMAN MEMORY. Mik Lamming y William Newman. Disponible como Rank Xerox Euro-PARC Technical Report 91-03; febrero de 1991.

LCDs AND BEYOND. Nick Baran en *Byte*, vol. 16, n.° 2, págs. 229-236; 1991.

A TALK WITH INTEL. Kenneth M. Sheldon en *Byte*, vol. 16, n.° 4, págs. 131-140; abril de 1991.





**ENERGIA PARA LA TIERRA**

**Número extraordinario de**

INVESTIGACION Y CIENCIA

*Noviembre de 1990*

**Energía para el planeta Tierra**
Ged R. Davis

**Uso rentable de la electricidad**
Arnold P. Fickett, Clark W. Gellings y Amory B. Lovins

**Energía para edificios y viviendas**
Rick Bevington y Arthur H. Rosenfeld

**Energía para la industria**
Marc H. Ross y Daniel Steinmeyer

**Energía para vehículos de motor**
Deborah L. Bleviss y Peter Walzer

**Energía para el mundo subdesarrollado**
Amulya K. N. Reddy y José Goldemberg

**Energía para la Unión Soviética, Europa del este y China**
William U. Chandler, Alexei A. Makarov y Zhou Dadi

**Energía de combustibles fósiles**
William Fulkerson, Roddie R. Judkins y Manoj K. Sanghvi

**Energía nuclear**
Wolf Häfele

**Energía procedente del Sol**
Carl J. Weinberg y Robert H. Williams

**La energía en transición**
John P. Holdren

# Productos y servicios para redes informáticas

*De las obligaciones de espacio y de tiempo que ahogan muchas iniciativas humanas, nos liberarán redes, inteligentemente diseñadas, capaces de conocer y satisfacer nuestras necesidades*

Nicholas P. Negroponte

Quizá, durante una cena, le hayamos guiñado el ojo a un amigo íntimo. Podríamos afirmar, valiéndonos de una medida levemente pervertida de la anchura de banda, que nuestro guiño entrega sólo un bit. Sin embargo, ese bit porta consigo una enorme cantidad de información; si nos preguntaran, seguramente nos harían falta más de 100.000 bits para explicar a un tercero el contenido del mensaje. Hemos conseguido, en un sentido real y verdadero, una compresión de datos que supera la relación 100.000 a 1. Si alcanzásemos un nivel de compresión tan elevado, podríamos enviar señales de televisión de alta definición (TAD) por las líneas telefónicas a la tardona velocidad de 1200 baudios (bits por segundo).

No comprenderemos el éxito del guiño limitándonos a los análisis normales de rendimiento de las redes. En la evaluación de una red, solemos atender a su capacidad como canal de transmisión, sin prestar la debida consideración a los transceptores ubicados en los extremos. El guiño funciona precisamente por la razón contraria: emisor y receptor comparten un cuerpo de conocimientos y experiencias comunes, y poseen la inteligencia necesaria para situar el gesto en su contexto. En este momento apenas se está dedicando esfuerzo alguno a la construcción de redes dotadas de similar sagacidad.

Si buscamos aplicaciones novedosas e imaginativas para las futuras redes, no podemos aislar nuestras consideraciones acerca de la modalidad y capacidad de los canales —estimaciones inespecíficas de cuánta y cuán rápidamente puede viajar la información por ellos— de los recursos computacionales instalados en los extremos de la red. Algunos encuentran contrarias a la intuición las proposiciones que sostienen tal verdad. Mas, para demostrar mi tesis, examinaré la relevancia de esta verdad en tres dominios de productos y servicios: ocio, transacciones y sucedáneos electrónicos de personas.

Ante todo, empecemos por desmitificar la anchura de banda. Muchos profesionales y especialistas en redes alegan que de nada servirán las redes si no alcanzan las anchuras de banda que las fibras ópticas consienten. Afirman que debemos presionar para que se reemplacen los cables de cobre por tales fibras; que únicamente entonces podremos disponer de redes con anchura de banda suficiente para permitir la transmisión de datos a velocidades aceptables.

Resulta irónico, empero, que los sistemas de banda ancha sean inevitables. El costo y mantenimiento de las fibras ópticas serán tan inferiores a los sistemas de cables de cobre que las fibras van a ser instaladas aunque no exista necesidad de dar acomodo a servicios de banda ancha. La urgencia por justificar servicios que exigen anchos de banda en torno al gigabit por segundo constituye una pura anomalía histórica; nuestro tiempo es el punto de cruce entre los costos descendentes de las fibras y el coste, sensiblemente constante, de los cables de cobre. La base instalada de fibra óptica va a crecer sean cuales fueren los nuevos servicios que ofrezcamos. El problema está en que su crecimiento natural resulta demasiado lento para quienes alcanzan a imaginar los beneficios de la anchura de banda, o de quienes podrían sacar partido de ellos.

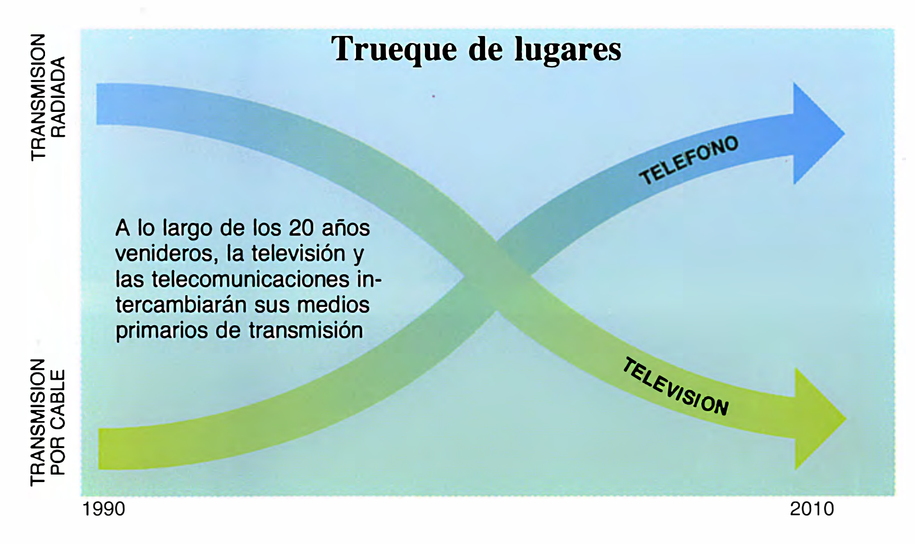
A resultas del innecesario esfuerzo por justificar lo inevitable, muchos productos y servicios hoy propuestos para las redes están amañados, son artificiosos o de conveniencia o, peor todavía, están formulados con total desprecio por los avances concurrentemente logrados en informática. Quienes tienen velados intereses en las redes proclaman la necesidad de grandes viaductos de datos que interconecten nuestras máquinas, arguyendo que carecemos de experiencia en lo concerniente a procesar y almacenar información. Una de tales afirmaciones es que nos harán falta redes de banda ancha para la transmisión de señales de vídeo. En realidad, sabemos ya que es posible transmitir vídeo por líneas de cobre T1, que consisten en un par de hilos conjuntamente retorcidos, cuya capacidad es de 1,5 megabits por segundo. Los verdaderos productos y servicios del futuro provendrán de aplicaciones imaginativas, fruto conjunto de la capacidad del canal y de la capacidad de cómputo, y no de ninguna de éstas por separado.

NICHOLAS P. NEGROPONTE es fundador y director del laboratorio de medios del Instituto de Tecnología de Massachusetts, donde estudió la carrera y se graduó en 1966. Profesor visitante de las universidades de Michigan, California en Berkeley y Yale, ha escrito y disertado abundantemente sobre tecnología informática, sobre interfaz hombre-máquina y sobre la cambiante naturaleza de la comunicación.

**1. HOLOGRAMAS MOVILES creados en tiempo real mediante ordenadores. Los hemos desarrollado en el laboratorio de medios del Instituto de Tecnología de Massachusetts con apoyo de la Agencia de Proyectos Avanzados para la Defensa (DARPA) y el laboratorio Rome. Conforme mejora la tecnología de producción de estas imágenes y es integrada en la red de información, los hologramas pueden convertirse en importantes vehículos de presentación de noticias y oportunidades para el ocio.**








El hombre posmoderno es un nómada. Podemos conjeturar sin temor a equivocarnos que los autores que contribuyen a este número de *Investigación y Ciencia* se pasan más de la mitad del tiempo viajando. Según una teoría, si dispusiéramos de un buen servicio de teleconferencias y de otros servicios de banda ancha que fuesen extraordinariamente sencillos de usar, casi todos esos viajes resultarían innecesarios —podríamos quedarnos todos en casa, librar de los humos de los reactores la capa de ozono y evitar la fatiga y desgaste de nuestros cuerpos. Sin embargo, la posibilidad más interesante que las redes nos prometen no parece ser la de quedarse en casa.

La cuestión que suele pasarse por alto es que nuestra libertad de movimientos nace, precisamente, de que hay a nuestra disposición medios electrónicos para mantenernos en contacto con nuestra base, con nuestro hogar. Nadie necesita hallarse a una distancia de la oficina mayor que la de una llamada telefónica, una transferencia de datos o una transmisión facsímil. A lo que nosotros, los proyectistas de redes, deberíamos atender no es a los bits por segundo necesarios para rebajar nuestro frecuente kilometraje aéreo, sino a los recursos informáticos que nos permitirán ser más o menos independientes del espacio y el tiempo.

La independencia del espacio y del tiempo constituye, considerados uno por uno, el servicio y el producto más valioso que podemos proporcionar a la humanidad. Tal resultado no tiene por qué traducirse por sí solo en una existencia nómada, aunque tal idea no carezca de interés.

Las prohibiciones de viajar a determinados países durante la guerra del Golfo resucitó el interés por los sistemas de teleconferencia, los cuales continuarán acentuando su atractivo. No obstante, los desarrollos más fascinantes provendrán de servicios que nos dejen mover a nuestro antojo por haber creado en la red un sucedáneo nuestro, un "duplicado" con el cual pueden comunicarse los demás.

Tales avances dependerán, es obvio, del almacenamiento y transmisión de información, ya sea a través de señales de radiodifusión o a través de fibras ópticas. El espectro de radiofrecuencia es un bien escaso y prefijado, mientras que las fibras, al igual que la potencia de cómputo, son algo que podemos fabricar indefinidamente. Lo cual implica que los canales para la distribución de los diferentes tipos de información que hoy conocemos habrán de intercambiar sus papeles. La mayor parte de la información que hoy recibimos a través del éter —la televisión, por ejemplo— nos llegará mañana merced a un cable subterráneo. Recíprocamente, casi todo cuanto hoy recibimos a través del suelo —caso del servicio telefónico— nos llegará a través del aire, gracias a las ondas.

Dos reglas prácticas determinan la forma en que habría de ser distribuida la información. Primera: hay que utilizar el espectro de radiofrecuencia para comunicaciones con entes móviles: automóviles, barcos, aviones, terminales de telecomunicaciones de pulsera y similares. Segunda, las entregas de información al escritorio o la sala de estar han de hacerse mediante fibras ópticas.

No hay dificultad en ver en acción estas dos reglas. La popularidad de los teléfonos celulares y de la televisión por cable inició la tendencia, y ésta no va a detenerse. En el plazo de 20 años será una perversión —quién sabe si un delito— utilizar satélites para difundir televisión.

Los fabricantes de televisores están dotando a sus receptores de una capacidad de cómputo cada vez mayor, al tiempo que los fabricantes de ordenadores están instalando más y más capacidad gráfica en sus estaciones de trabajo. Aunque tal evolución pueda parecer mera fusión de tecnologías, la verdad es que cada bando está despreciando la utilidad subyacente a los fines y técnicas del otro. El resultado es que los fabricantes de televisores están cercenando su propio acceso a un mercado más amplio, el de la entrega de información, y que los fabricantes de ordenadores están empeñando su licencia por entrar en la industria del ocio.

Los Estados Unidos parecen prestos a emerger como posible líder en televisión avanzada al optar finalmente por hacerla digital. Europa y Japón están disconformes con tal decisión, habiendo preferido tomar sendas no digitales. No obstante, los Estados Unidos habrán de avanzar mucho más en su senda conducente a la televisión de alta definición, porque hasta el momento todas las propuestas que se le han formulado a la Comisión Federal de Comunicaciones se han concentrado en proporcionar imágenes de superior calidad. La televisión digital tiene mucho más que ofrecer que una mejor definición de sus imágenes.

Antes de que podamos ver ideas originales e innovadoras en este campo, deberán cambiar dos actitudes básicas atinentes a la transmisión digital de imágenes en general y de televisión en particular. Primero, habrá que tener en cuenta que las imágenes son objetos representables a diversas escalas. La representación de imágenes grandes exige un número proporcionalmente mayor de píxeles y tanta más información para describirlas. En nuestros días, una pantalla de 4 pulgadas (10 cm) y una de 27 (casi 70 cm) utilizan el mismo número de píxeles, por lo que la calidad de las imágenes cambia con el tamaño.

En segundo lugar, a la larga, la codificación y transmisión de imágenes basada en modelos matemáticos serán superiores a la mera transmisión de imágenes. Los modelos matemáticos de una escena permiten no sólo describir las relaciones espaciales de los objetos contenidos en ella, sino también hacerlos maniobrar en el espacio. La idea de atrapar imágenes mediante cámaras resulta caduca si es factible captar un modelo realista a partir del cual el receptor genere cualquier imagen. Por ejemplo, a partir de un modelo en tiempo real de un partido de fútbol, el aficionado que lo

contempla en su casa podría disponer de la vista desde cualquier punto del campo, e incluso desde la perspectiva del balón.

La industria del ocio será una de las primeras en sacar provecho del nuevo ambiente para ofertar productos y servicios. A decir verdad, parte del trabajo de preparación del terreno se ha efectuado ya. Una compañía de videojuegos, Nintendo, dispone en los Estados Unidos de una base instalada de 30 millones de máquinas de juegos electrónicos; podemos hallarlas en más del 70 por ciento de los hogares donde haya un niño de edad comprendida entre 8 y 12 años. En breve, Nintendo constituirá la máxima presencia en informática doméstica de ese país y es, potencialmente, la principal de las fuerzas motoras hacia un cambio educativo. Instaladas en una red, estas máquinas cambiarían la faz de nuestra cultura. Hablando en términos más generales, conforme prosigue la evolución de productos y servicios, las empresas propenderán a definirse por lo que ofrecen a sus clientes más que por las tecnologías que puedan utilizar.

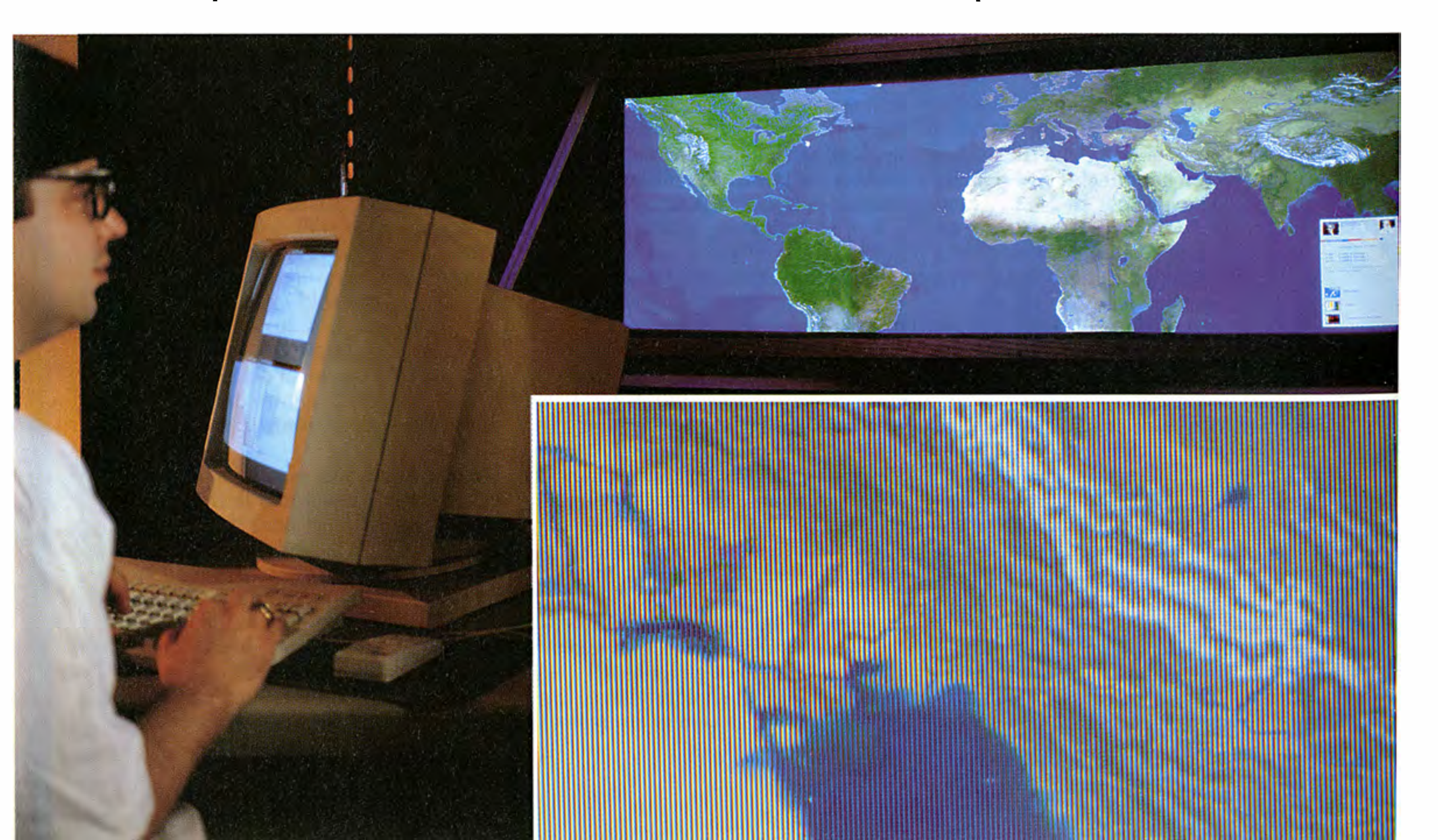
Es verosímil que el primer servicio de ocio disponible en las redes sea el de "películas sobre pedido", porque la tecnología necesaria será la primera en ser desarrollada. ¿Cuántas veces no habremos entrado en un videoclub y no habremos alquilado una cinta ya vista o que resultó algo que jamás habríamos querido ver? Los videoforofos son grandes expertos en el alquiler de cintas, pero los demás somos incapaces de recordar cuáles son las películas de Clint Eastwood que hemos visto ya o de saber por el título que *El silencio de los corderos* es una película de terror cuyo protagonista es un psicópata. La clasificación que hace la propia tienda —"dramas", "comedias", "acción", etc.— no sirve de mucho.

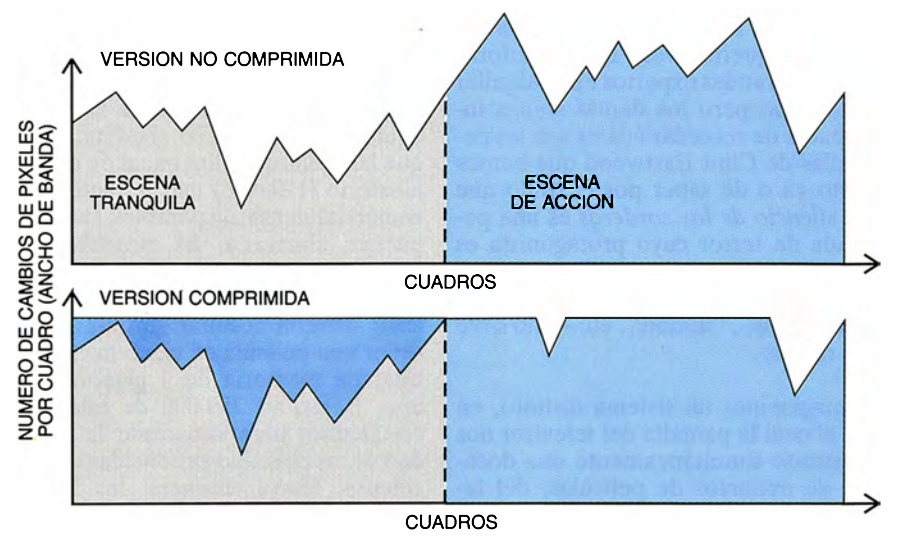
Imaginemos un sistema distinto, en el cual la pantalla del televisor nos mostrase simultáneamente una docena de extractos de películas, del tamaño de una tarjeta postal. Tal proyecto es totalmente realizable con imágenes digitalizadas, susceptibles de cambio de escala. Con una modesta interacción con el televisor para indicarle nuestras preferencias de actores o temas, y basándonos además en el registro que el televisor podría llevar de lo que hemos visto ya, no tendríamos dificultad en seleccionar la película perfecta de entre las más o menos 50.000 realizadas en el mundo occidental desde la aparición del cine. No costaría mucho más que solicitar el tipo de películas que nos gustan.

La tarea de la red consistiría en almacenar los filmes en cierto lugar y entregarnos la película instantáneamente. La tarea de almacenamiento no es desorbitada. Para la calidad de que goza el VHS, una hora de visión equivale a unos cinco gigabits. Aunque las memorias dinámicas de acceso aleatorio (DRAM) más potentes hoy comercialmente disponibles tan sólo pueden almacenar 64 megabits, las capacidades de las memorias crecen a un ritmo exponencial. Hacia el año 2000 debería resultar posible almacenar una película en cinco micropastillas de memoria de 1 gigabit cada una. Bastarían 250.000 de tales microcircuitos para almacenar la totalidad de las películas producidas en Occidente. Hasta entonces, los 50.000 filmes podrían conservarse en un número doble de discos compactos (discos CD), o, a medio plazo, en 50.000 videodiscos.

No sería el espectador cinematográfico el único en beneficiarse de semejante plan. Cuando en 1983 se le pidió al laboratorio de medios del MIT que investigase para Columbia Pictures la correspondiente tecnología, la idea era utilizar como soporte el disco compacto de audio, que constituiría una forma nueva de medio de difusión, adquirible por un precio similar a un alquiler. La idea les resul-

**2. LA TELEVISION DE MUY ALTA DEFINICION, objeto de desarrollo en el laboratorio de medios del MIT, ofrece imágenes de calidad casi fotográfica. La pantalla tiene una resolución de 2000 líneas verticales, frente a las 480 que tiene en EE.UU. la televisión estándar. Tan sólo en la más extrema ampliación comienza un detalle del golfo Pérsico (*recuadro*) a exhibir la insuficiente calidad que se observa en los receptores de televisión actuales. La gran anchura de la pantalla, 6000 píxeles, se consigue adosando tres monitores de 2000 píxeles.**






**3. LA COMPRESION DE VIDEO por el procedimiento de "mirar lo que viene" es una técnica que permite codificar y transmitir eficientemente información de vídeo. Antes de la compresión, los niveles de la información cambian grandemente de cuadro a cuadro (*arriba*). Esta técnica reduce la anchura de banda requerida para entregar la información, rellenando los "valles" con las "crestas" (*abajo*). Tras aplicar otras técnicas de compresión, una hora de vídeo puede ser transmitida por una fibra en menos de cinco segundos.**

taba atractiva a las compañías cinematográficas, que podrían así hacerse con parte del importe de cada copia vendida al público, en vez del ingreso único que les reporta la venta de la cinta a las tiendas de alquiler. El Grupo de Expertos en Cinematografía, ente dedicado a la normalización, coopera ya en la coordinación de los esfuerzos de IBM, Apple, Intel, Philips, Sony y otras compañías que se han interesado por el desarrollo del vídeo en disco compacto.

Puesto que cada película solamente sería codificada una vez por la distribuidora cinematográfica y decodificada millones de veces por los televidentes, vale la pena invertir dinero y esfuerzo en garantizar la calidad del proceso de codificación. No es preciso que la codificación se realice en tiempo real. Técnicas de compresión muy refinadas permiten "echar una ojeada a lo que viene" en un vídeo y hallar escenas ricas en información (es decir, tasas elevadas de cambio de píxeles); algunos de estos "excesos de datos" pueden ser grabados en conjunción con escenas anteriores que tengan poca información nueva. Al rellenar los "valles" con las "crestas" se logran tasas de compresión grandes. Con este proceder no sólo es posible encajar una hora de película en un disco compacto, sino que es factible hacerla pasar a través del puerto de salida de audio del CD, a pesar de la angostura de su ancho de banda.

Otra aplicación, más interesante, de esas mismas técnicas de compresión consiste en embalar por paquetes los datos de vídeo, para su rápida transmisión. De este modo, con una fibra óptica capaz de un gigabit por segundo, podríamos enviar una hora de vídeo en sólo cinco segundos. He aquí un convincente ejemplo de cómo el sinergismo entre la inteligencia del ordenador y la gran amplitud de banda del canal proporciona un servicio de resultados muy superiores a la técnica tradicional, que sostiene que el vídeo engulle glotonamente ancho de banda y exige un flujo continuo en la entrega.

Así empaquetado, el vídeo podría entregarse a un receptor provisto de memoria y pasarse en distinto orden del que se recibió. Los paquetes relacionados entre sí podrían ser concatenados o indexados por contenido y los espectadores podrían navegar arriba o abajo por esta jerarquía de información. Por ejemplo, el televidente de un informativo podría pulsar un botón de "ampliación de noticia" y un comentarista se la desarrollaría a diversos niveles de profundidad, aprovechando un material que la tijera cortó en la sala de montaje.

Aunque la televisión no tiene por qué ser una glotona "tragabits", el vídeo holográfico es harina de otro costal. Hace quince años, muchos de nosotros vimos en *La guerra de las galaxias* cómo R2D2 proyectaba una imagen holográfica de la princesa Leia ante Obi-Wan-Kenobi. Dejando aparte los efectos especiales del cine, la verdad es que la holografía en tiempo real tardará decenios en llegar al usuario. El laboratorio de medios del MIT, que es, hasta donde sé, el único laboratorio que investiga en holografía en tiempo real, ha conseguido animación holográfica en tiempo real para imágenes de unos 15 centímetros cúbicos. Tales imágenes se consiguen con una computadora de funcionamiento paralelo a gran escala y precio multimillonario en dólares, más toda una sala repleta de equipos optoelectrónicos, un espejo giratorio y un láser de alta potencia. No está claro cómo se conseguirá aumentar la escala de esta tecnología para conseguir jugadores de fútbol de 20 cm de alto que corran por nuestras salas de estar pasándose un balón de un centímetro y medio.

Echemos una ojeada a las cifras. El sistema con que hoy cuenta el mencionado laboratorio de medios utiliza un canal de 50 megabits por segundo para generar una imagen diminuta. Aumentar la escala hasta un tamaño adecuado a una sala de estar exigiría procesar unos 45 terabits por segundo. Aun cuando rebajásemos la tarea en tres órdenes de magnitud recurriendo a técnicas "astutas" de procesamiento, seguiríamos enfrentados a nada menos que 45 gigabits por segundo.

El fantástico consumo de anchura de banda que la holografía requiere induce a pensar que será necesario que el receptor disponga de modelos computacionales de los acontecimientos, en lugar de datos holográficos en rama. Las imágenes holográficas correspondientes al partido de fútbol podrían ser generadas a partir de modelos precisos. La información necesaria para la manipulación del modelo habría de ser enviada por fibra, pero la imagen sería en realidad computada y creada por el receptor y no captada por una cámara.

Con independencia de que se transmita el modelo o el holograma, será precisa una importante anchura de banda, que sólo las fibras ópticas ofrecen. El ejemplo extraído del ámbito del ocio (partido de fútbol) no niega que esta tecnología se desarrolle a medio plazo en el diagnóstico clínico a distancia y, dentro de un futuro más lejano, en el control de teleoperadores.

La información posee valor, pero es tan perecedera como la fruta fresca. Varía éste de unas personas a otras, de un momento al siguiente. En ciertos casos, el valor puede súbitamente caer a cero. El conocimiento de que hay una plaza libre en un avión pierde sentido cuando éste ya se dirige a tomar pista. Pero cuando la información desemboca en una transacción —la reserva del asiento—

su valor es menos efímero. Un servicio que facilite las transacciones se gana la gratitud de comprador y vendedor. Y su propia felicidad no tiene por qué ser menos que la de éstos, pues probablemente pueda pasarle factura a uno y otro. La información transaccional ofrece tan grandes atractivos para empresas y consumidores que con certeza se contará entre los primeros servicios y productos ofrecidos por las redes.

Es verosímil que la computación de multimedios, en la que se combinan vídeo con movimiento, audio y texto, constituya un importante instrumento de formalización de transacciones. Se presume que va a ser una de las principales consumidoras de ancho de banda, pero a corto plazo las soluciones que utilicen multimedios no tienen por qué serlo. Los clientes podrían acceder a cierta información ubicada en algún lugar distante a través de medios de banda estrecha. La información complementaria podría encontrarse ya en el hogar en el momento de la transacción, habiendo llegado allí por correo ordinario o algún servicio de mensajería.

El uso de videodiscos para anunciar residencias veraniegas en alquiler nos proporcionaría un ejemplo sencillo. En uno de tales discos podrían registrarse no menos de 54.000 casas; el disco podría serle facilitado a los potenciales arrendatarios. Los usuarios controlarían el disco especificando lo que desean de su casa de verano: costo, número de habitaciones, fechas de disponibilidad, ubicación y vistas y demás detalles. El sistema de visión únicamente mostraría, entre las disponibles, aquellas viviendas que fuesen compatibles con los criterios especificados. En este caso, la tecnología del videodisco ha creado un producto, pero fue su combinación con los servicios informáticos centrales y locales lo que hizo posible la transacción.

Con mayor generalidad, el problema y su solución vienen a constituir una variación de las Páginas Amarillas. Sin embargo, el término posee en este contexto varios significados que trascienden de los connotados por esta venerable guía. Las Páginas Amarillas electrónicas podrían, por ejemplo, estar codificadas geográficamente, de modo que una compañía o servicio pudiera quedar en relación con nuestra identidad personal (quiénes somos), dónde nos encontramos, adónde vamos y qué nos pudiera suceder por el camino. Dado que las Páginas Amarillas constituirían una porción activa de la red y no un libro inmóvil en un estante, podrían obtener información puesta al minuto acerca de sus anunciantes.

Más del 95 por ciento de los servicios que se anuncian en las Páginas Amarillas no recurren a ninguna otra forma de publicidad. Por esta razón, los proveedores de servicios encontrarán atractiva la posibilidad de añadir nuevos niveles de detalle, de información diaria, fotografías, clips de vídeo y descripciones verbales. También el cliente recibirá con agrado esa información. La base de datos podría ser explorada desde ángulos enteramente originales.

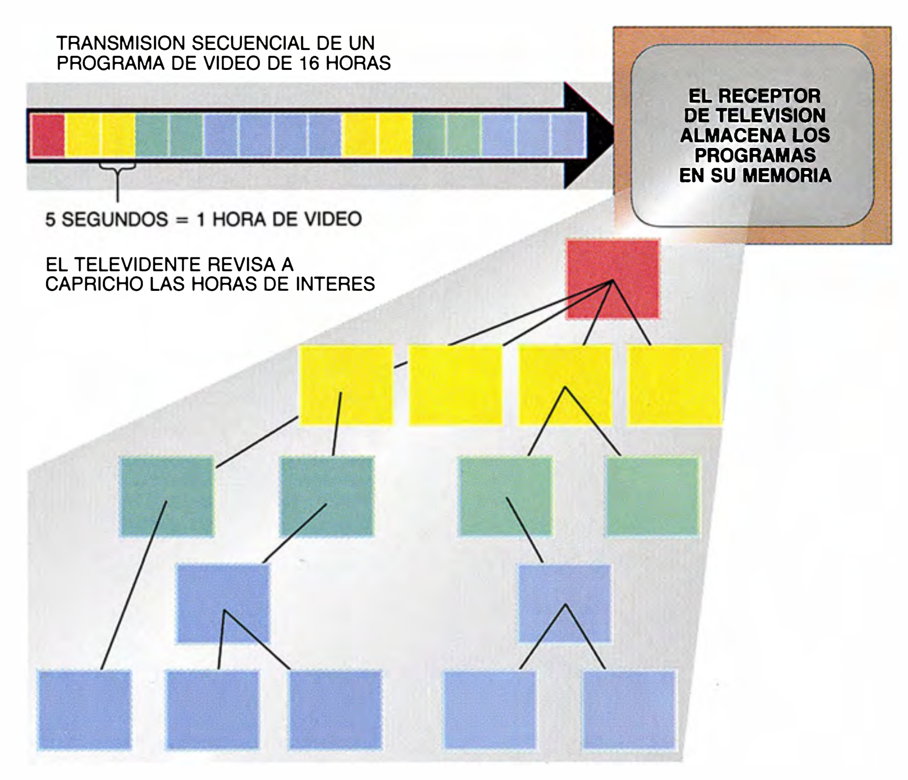
Los sistemas multimedios en red tienen aquí una oportunidad hecha a su medida, siempre que la normativa jurídica del país lo permita. Simultáneamente, los actuales proveedores de información, y en especial los periódicos, deberán acentuar su agresividad e imaginación para competir en el "milieu" electrónico.

En nuestros días, los anuncios en forma impresa pueden clasificarse más o menos en tres categorías: persuasión por afiliación, convencimiento por demostración empírica y venta de productos específicos. Los anuncios de licores y cigarrillos, al afiliar sus productos con yates, cowboys y personas elegantes y bien parecidas, constituyen arquetipos de la primera categoría. Tenemos ejemplos del segundo tipo en los anuncios de automóviles y grandes almacenes. Los anuncios clasificados de los periódicos son modélicos del tercer tipo. En todos los casos, el lector ha de tropezarse más o menos por casualidad con la información pertinente.

Para los medios de comunicación impresos, el gran cambio consistirá en que la publicidad pasará a ser noticia y que la persuasión por afiliación se irá extinguiendo. La red estará lo suficientemente adaptada a nosotros como para prever nuestras necesidades e intereses y poseerá inteligencia suficiente para descubrir oscuras subastas de equipos de pesca a la mosca en mitad del invierno. No es forzoso que los anunciantes hayan de sentirse incómodos con una red así, porque la amplitud de alcance queda restringida a unos pocos que compartan un interés similar. Imagine el lector con qué agrado no aprovecharían General Motors y Nissan la oportunidad de anunciarse a él personalmente justo cuando está empezando a pensar en un nuevo BMW.

Casi todos los servicios pueden mostrar su perfil adaptándose a las exigencias de cada sujeto. A todos

## Televisión con "ampliación de noticia"




**4. LA INFORMACION DE VIDEO, transmitida por paquetes, que constituyen en su conjunto un programa, puede ser enviada a un receptor de televisión provisto de memoria. El espectador puede después revisar estas horas de información en un orden cualquiera, buscando desarrollos de temas de su interés o saltándose los que le parezcan irrelevantes. De esta forma, ver la televisión podría parecerse más a leer un libro o a una conversación.**

nos agrada ser reconocidos y atendidos de manera personal en vez de nadar sumergidos y sin rostro en el mar de la multitud. Al igual que el guiño, los sistemas de información personal son extraordinariamente eficientes. A este respecto, las formas más deseables de interacción con una red son aquellas en las que la red permanece invisible e imperceptible. Los proyectistas suelen olvidar que a la gente no le gusta nada usar sistemas, por elementales que sean. Lo que la gente quiere es delegar las tareas y no preocuparse de cómo se realizan.

Tenemos un excelente ejemplo cuando llamamos a alguien por teléfono. El diseño concreto del microauricular, el brillo de la pantalla indicadora o el tacto de los botones resultan irrelevantes. Lo único que desea el usuario es que el teléfono le ponga en contacto con una determinada persona o que haga algo apropiado si tal persona no puede ponerse. El dar con la persona (o fracasar en ello) no es más que parte de la tarea; lo que importa es que se haga lo adecuado y ello exige del sistema una extraordinaria individualización e inteligencia.

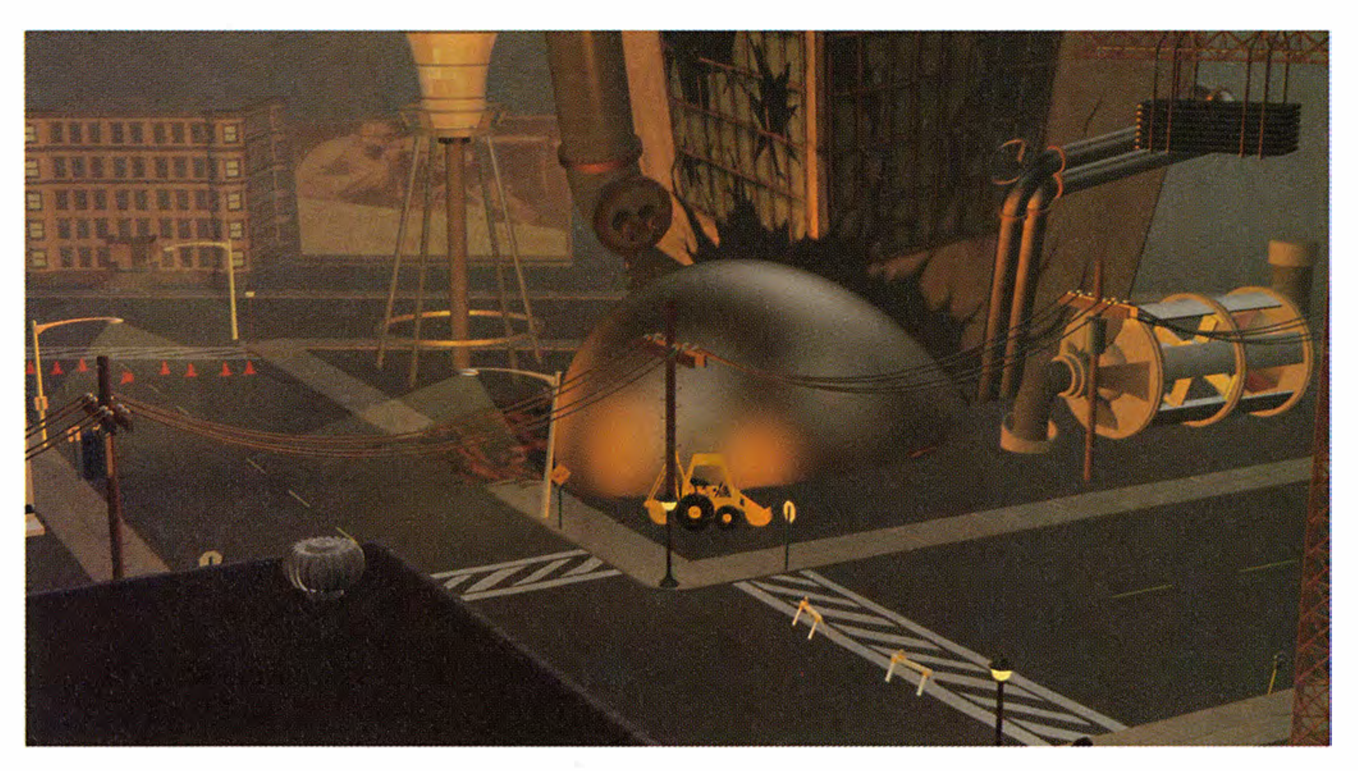
¿En qué consiste el conocer a alguien? Por lo general, en un cuerpo compartido de saberes, pero no en el sentido en que dos personas pueden conocer la química orgánica. Se trata más bien de que dos personas hayan compartido experiencias. Cada uno de nosotros tiene un círculo de conocidos, profesional o personalmente, con quienes trabajamos, jugamos o convivimos. Análogamente, cada uno de nosotros tiene hábitos propios, sus idiosincrasias y estilos de vida. Nuestros empleos u ocupaciones definen redes de personas que adquieren diferentes grados de importancia en nuestras vidas en distintos momentos. Los conocemos porque sabemos su forma de pensar y actuar, y ellos, las nuestras.

Es el conocimiento de tal información lo que hace que un sistema sea personal e individual. En un sentido muy real, el sistema se convierte en miembro de buena fe de nuestra comunidad personal y profesional. La individualización electrónica es, por definición, una mixtura de información centralizada y descentralizada, manipulada y filtrada por un séquito de agentes electrónicos.

Un periódico a nuestra medida nos servirá de ejemplo idóneo. ¿Qué desearíamos que portara ese diario? La cuestión es delicada. Por una parte, quisiéramos historias y noticias que nos interesaran y, por otra, nadie confiaría a máquinas o humanos la completa eliminación de toda la información restante. Puede que de ordinario no nos interesen las noticias de ciertos deportes, pero sabemos que nuestra actitud sería distinta si estuviera compitiendo un amigo íntimo. El valor de la noticia se encuentra en el ojo del espectador y no sólo en la del editor. Y sin embargo, hasta la fecha el espectador no ha formado parte de la ecuación, excepto en la mera preferencia de unas publicaciones a otras.

En el futuro, los sistemas de noticias y de información personal tendrán la posibilidad de estar mucho más integrados de lo que lo están hoy, lo que debería resultar altamente beneficioso. Si el avión que debemos tomar a primera hora va a sufrir retraso, tal noticia debería constituir el primer titular de nuestro periódico individualizado. A decir verdad, si nuestro sistema fuera lo suficientemente inteligente, debería decirle a nuestro despertador que nos dejase dormir una hora más (tras cerciorarse de que no existen otras posibilidades por distintas rutas o aerolíneas). Y si nuestro vuelo se ajusta al horario, sería de esperar que la edición matutina especial para nosotros trajera la previsión meteorológica del punto de destino (para poder llevarnos el paraguas aunque el día esté raso).

En este punto, más de uno pondrá el grito en el cielo. "¡Ya basta!, dirá. No quiero que mi periódico esté tan individualizado!" Dos suelen ser los argumentos esgrimidos: "Cuento con que el periódico impersonal sirva de



**5. LA DESCRIPCION DE ESTE CUADRO de dibujos animados para televisión de alta definición exigiría unos 50 millones de bits para describir por completo sus píxeles; la animación requiere 30 cuadros por segundo. La transmisión de toda esa información a velocidad suficiente exigiría una enorme anchura de banda. Pero si en el extremo receptor hay un ordenador que contenga modelos de los objetos representados, bastará con enviar las instrucciones relativas a sus movimientos. Tal proceder permite manejar con anchos de banda estrechos imágenes de alta definición.**

fundamento común para la conversación y doy por supuesto que otras personas lo conocen también"; y "No quiero volverme narcisista y egocéntrico de puro estar oyendo sólo lo que me gusta oír."

Estas objeciones no van del todo desencaminadas. Presumen, empero, que tal individualización deja completamente de lado el conocimiento común, lo que no tiene por qué ocurrir. La verdad es que, si pensamos en nuestros mejores amigos, se trata de personas que no nos dicen siempre lo que quisiéramos, sino lo que consideran que es la verdad y lo que más nos conviene. Otro tanto podría valer para un agente electrónico: no tiene por qué limitarse a lo que nos parece que nos gustaría saber. Nuestra elasticidad para admitir información irrelevante es muy distinta a primera hora del lunes que el domingo por la tarde; cuando descansamos en un jardín y cuando estamos a punto de cruzar el umbral para una reunión importante.

Fijémonos en la individualización en el contexto de un teléfono, que en nuestros días suena indiscriminadamente. Un mayordomo experimentado respondería a la llamada en función de quien llamase, y, en muchos casos, de lo que tal persona desea decir. Aunque tal disposición pueda parecer muy egoísta, no lo es. Con frecuencia, nuestro comunicante estará encantado de hablar con el mayordomo y dejar su mensaje, independientemente de que el destinatario se encuentre presente o no, con tal de asegurarse de que el mensaje será entregado oportunamente. Las redes del futuro deberían comportarse con no menor inteligencia.




**6. PERIODICOS ELECTRONICOS INDIVIDUALIZADOS, que serían compilados mediante ordenadores que revisaran la red en busca de información de especial interés para cada persona. Al objeto de determinar qué noticias seleccionar y cuánta prominencia y detalle han de tener se podrían utilizar modelos electrónicos muy ajustados a los gustos de los individuos.**

Podemos hallar un ejemplo de individualización de la información en la idea de personalización de la televisión. El ejemplo reviste interés en cuanto que individualiza el principal de los medios de masas y en cuanto pone patas arriba en ciertos aspectos la idea misma de cadenas de televisión.

En 1965, la Corporación Carnegie solicitó de James R. Killian, Jr., antiguo presidente del Instituto de Tecnología de Massachusetts, que encabezara una comisión sobre televisión educativa que pusiera los cimientos del sistema público de radiotelevisión. Al aproximarse la comisión al fin de sus trabajos, en 1967, se presentó la necesidad de disponer de una visión más técnica de lo que traería el futuro; se le pidió a J. C. R. Licklider, también del MIT y de autoridad reconocida por sus trabajos sobre interfases entre humanos y ordenadores, que preparase rápidamente un apéndice. En él, Licklider acuñó el término "narrowcasting" (antónimo de "broadcasting", que podríamos traducir por "difusión selectiva"), previendo con gran sabiduría la creciente necesidad de preparar programas más especializados, encaminados a gustar a públicos restringidos. Tal idea ha sido entusiásticamente adoptada por la industria de revistas en particular y por la de distribución de información en general; ambas están practicando una difusión más y más selectiva en toda clase de temas. Lo que Licklider pasó por alto fue el entonces impensable caso límite: un público compuesto por un solo individuo.

Al confrontar estas dos nociones de difusión deberíamos fijarnos menos en la amplitud o limitación del público destinatario y más en la propia idea de difusión. En su libro *The Media Lab* (El laboratorio de medios) Stewart Brand acuñó otro término: "broadcatching" ("captación amplia"), que con toda la razón señala en qué consiste el verdadero problema: en captar con discernimiento la información ofrecida por la televisión y otros medios, de modo que la suma de las partes seleccionadas constituya un todo particularizado para cada uno.

Como ya se ha mencionado, resulta posible transmitir una hora de televisión en cinco segundos. En principio, nuestro televisor podría examinar más de 5000 horas de programación durante las siete horas de una jornada laboral. Podemos imaginar un sistema de indexado de programas de televisión. En un futuro próximo, sería posible emitir los programas digitalmente con una tabla de contenidos al principio de los mismos. Consultando la tabla, nuestro televisor inteligente podría eliminar los programas carentes de interés. Podría entonces extraer, de las 5000 horas de programa que ha supervisado, un des-




INVESTIGACION Y
CIENCIA

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

ha publicado sobre el tema, entre otros, los siguientes artículos:

**Comunicaciones ópticas por cables submarinos,** Raimundo Díaz de la Iglesia.
*Número 117, junio 1986.*

**Nuevos metales,** Bernard H. Kear.
*Número 123, diciembre 1986*

**Nuevas cerámicas,** H. Kent Bowen.
*Número 123, diciembre 1986*

**Nuevos polímeros,** Eric Baer.
*Número 123, diciembre 1986*

**Materiales para el transporte terrestre,** W. Dale Compton y Norman Louis A. Girifalco.
*Número 123, diciembre 1986*

**Materiales para la navegación aerospacial,** Morris A. Steinberg.
*Número 123, diciembre 1986*

**Nuevos materiales y economía,** Joel P. Clark y Merton C. Flemings.
*Número 123, diciembre 1986*

**Materiales para la información y la comunicación,** John S. Mayo.
*Número 123, diciembre 1986*

**Electrones balísticos en semiconductores,** Mordehai Heiblum y Lester F. Eastman.
*Número 127, abril 1987*

**Transistores de arseniuro de galio,** William R. Fresley.
*Número 133, octubre 1987*

**Fractura del vidrio,** Terry A. Michalske y Bruce C. Bunker.
*Número 137, febrero 1988*

**Plásticos que conducen electricidad,** Richard B. Kaner y Alan G. MacDiarmid.
*Número 139, abril 1988*

**El dispositivo de efecto cuántico, ¿transistor del mañana?,** Robert T. Bate.
*Número 140, mayo 1988*

tilado o collage que no durase, por ejemplo, más de 10 minutos. Se podrían obtener ampliaciones de los temas sugestivos allí señalados dando al televisor instrucciones para que ahondase en la noticia. La duración total de la programación almacenada estaría limitada únicamente por la capacidad de la memoria del receptor. El aspecto particularizado del servicio suministrado estaría gestionado por el receptor, no por la red como un todo.

Se ha dicho demasiadas veces que las redes son como las carreteras. Y, por analogía, que estamos pasando de un sistema de caminos a una red de autopistas, dotadas de carriles más anchos y límites de velocidad más altos. Tal comparación resulta engañosa, porque sugiere que la red se mantiene por sí sola. No es así. Es la inteligencia aportada en cada uno de sus nodos y en sus extremos la responsable de que la red funcione.

Para comprender el papel que desempeña la inteligencia inherente a la red, reflexionemos sobre la distribución electrónica de información impresa. Un libro podría estar almacenado en una ubicación y ser enviado en facsímil a cualquier otro punto en un instante. Cada página podría quedar plenamente codificada como mapa de bits de una ilustración, una reproducción fiel, fotográfica, de la página. A primera vista, tal planteamiento resulta fascinante, sobre todo a cuantos hemos tenido que padecer texto kilométrico en líneas de 40 u 80 caracteres, sabiendo que los originales impresos poseían un formato rico, expresivo y legible. Sin embargo, al examinar el problema con mayor detalle, vemos que el almacenamiento y transmisión facsímil de libros constituye un temible error.

La solución correcta del problema consiste en almacenar una descripción del formato de la página, sin olvidar las fuentes tipográficas en que ha sido impreso. La descripción de una página así obtenida ha de ser transmitida juntamente con los códigos ASCII correspondientes a los caracteres del texto, amén de los mapas de bits de las fotografías y demás gráficos estructurados. Se requiere ahora inteligencia informática en el extremo receptor para decodificar el lenguaje de descripción de página y exhibir las "páginas" del libro.

¿Por qué es tan deseable este proceder? Por dos razones. Primera, la información contenida en el libro permanece en forma legible por los ordenadores. Las máquinas pueden consultar el texto y decidir si han de devolverlo a su forma original, si han de encaminarlo hacia algún sitio o si han de archivarlo. Segunda, este proceder permite dar a la información los formatos idóneos para ser exhibida en variedad de medios: en alguna ocasión podríamos preferir que la información apareciese en una pantalla de pulsera o de bolsillo en vez de recibir un facsímil de la página original.

No se crea que el error inherente a la transmisión y reproducción facsímil se limita a quienes buscan excusas para consumir ancho de banda o promulgar terminales estúpidos. La idea general de dar a los documentos el tratamiento de "imágenes" y la presencia de máquinas facsímiles en particular está retrasando la posibilidad de conseguir una información más legible por los ordenadores.

Basta pensar en qué medida forma parte de nuestro comportamiento semejante derroche. Mecanografiamos una carta con un procesador de texto, la imprimimos con una impresora láser e insertamos la copia en papel en un fax (o utilizamos un fax-modem). El último paso de esta cadena procede justamente a eliminar del texto el formato legible por el ordenador; el destinatario ya no puede utilizar el texto en un sistema de gestión de información que pudiera tener acceso al contenido. Y sin embargo, todos estamos procediendo así porque hay muchísimos más equipos de fax que sistemas coherentes de correo electrónico (y no digamos, sistemas capaces de interpretar lenguajes de descripción de páginas).

El fax, terminal estúpido por excelencia, representa a la perfección los servicios que resultan cuando no cargamos el acento en la inteligencia de la red y sus extremos y tomamos en cambio el mínimo común denominador que es el transceptor. La comisión de tales errores limita gravemente la calidad y originalidad de los servicios que posteriormente puedan surgir. No volvamos a cometerlos con las redes de banda ancha; las redes ofrecen auténticas oportunidades de liberación, que son demasiado atractivas para echarlas a perder.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

THE HUMAN INTERFACE: WHERE PEOPLE AND COMPUTERS MEET. Richard A. Bolt. Van Nostrand Reinhold, 1984.

THE ART OF HUMAN-COMPUTER INTERFACE DESIGN. Dirigido por Brenda Laurel. Addison-Wesley Publishing, 1990.

INTO THE TELECOSM. George Gilder en *Harvard Business Review*, vol. 69, n.º 2, págs. 150-161, marzo-abril de 1990.

# Ordenadores, redes de comunicación y trabajo

*Las interacciones por vía electrónica difieren sustancialmente de las relaciones directas cara a cara. Como consecuencia de ello, las redes de ordenadores transformarán las organizaciones y el desarrollo del trabajo*

Lee Sproull y Sara Kiesler

Aunque el mundo evolucione hacia la aldea global, la vida de la mayoría de la gente transcurre en el trabajo. Las personas pasan la mayor parte de su tiempo en un solo lugar y se comunican principalmente con sus compañeros inmediatos o con los clientes. Participan en un número muy restringido de grupos humanos en los lugares de trabajo: el grupo de compañeros en la tarea, tal vez un comité o un grupo operativo y posiblemente algún grupo social de carácter más o menos informal.

Pero hay quienes se desenvuelven en un medio adelantado en su tiempo, más cosmopolita: son los que trabajan en organizaciones que poseen amplias redes de ordenadores. Estos individuos se relacionan con gente de todo el mundo con la misma facilidad con la que hablan con sus vecinos de despacho. Participan de las discusiones en grupo sobre política empresarial, diseño de un nuevo producto, planes de contratación o incluso el partido de fútbol de la noche anterior, sin conocer siquiera a los demás convocados.

Las organizaciones que utilizan las redes difieren, en el tiempo y el espacio, de los centros de trabajo convencionales. Las comunicaciones basadas en los ordenadores son celerísimas, si las comparamos con el teléfono o el servicio postal. Las redes permiten enviar un mensaje al otro extremo del mundo en cuestión de minutos; estos mensajes pueden estar dirigidos a una sola persona o a muchas. Las redes posibilitan que el tiempo no transcurra. Los mensajes electrónicos pueden conservarse de manera indefinida en la memoria de los ordenadores. La gente puede leer una y otra vez estos mensajes en cualquier instante, copiarlos, modificarlos o darles curso.

Las empresas se sienten atraídas por estas redes ante la posibilidad de contar con comunicaciones más rápidas y eficientes. En nuestra opinión, el potencial de las redes tiene menos relación con estas cuestiones que con su capacidad para influir sobre el entorno laboral y las posibilidades de actuación de los empleados. Los directivos pueden utilizar las redes de comunicaciones para poner en marcha nuevos tipos de tareas y establecer nuevas relaciones. Pueden usarlas para cambiar las formas convencionales según las cuales una persona habla con otra o llega al conocimiento de algo.

Las posibilidades que ofrecen las redes plantean toda una serie de cuestiones importantes para los directivos y los investigadores sociales que estudian la organización del trabajo. ¿Es posible que una persona trabaje estrechamente con otra cuando su único contacto se lleva a cabo a través de un ordenador? Si los trabajadores se comunican sólo a través de conferencias telefónicas, contactos telegráficos o discusiones de grupo por medios electrónicos, ¿cómo garantizar la cohesión de una organización? La interrelación permite a uno el acceso sin restricciones a toda la información y a todas las personas. ¿Cómo pueden controlar los directivos esta libertad de acceso? ¿Qué aspecto presentará en el futuro este tipo de organización?

Somos varios quienes investigamos en la incidencia de las redes en la naturaleza del trabajo y en las relaciones entre directivos y empleados. Del conocimiento que se va adquiriendo podría aprovecharse la sociedad a la hora de sacarle el mayor partido a la red o amortiguar los fallos que su uso puede producir en las organizaciones.

Nuestra investigación se basa en dos aproximaciones al problema. Algunas cuestiones admiten la simulación experimental en el laboratorio; verbigracia, la respuesta emocional de los grupos pequeños a las diferentes formas de comunicación. Otro

LEE SPROULL y SARA KIESLER han dedicado más de diez años al estudio de las comunidades que utilizan el correo electrónico, con el fin de analizar los cambios que ese proceso opera en los hábitos sociales de la comunicación. Sproull se doctoró en ciencias sociales por la Universidad de Stanford en 1977. Da clases de su especialidad en la Escuela de Dirección de Empresas de la Universidad de Boston. Kiesler recibió su doctorado en psicología social por la Universidad estatal de Ohio en 1965. En 1979 firmó contrato de docencia con la Universidad Carnegie Mellon, donde enseña sociología, amén de participar en el instituto de robótica de dicho centro superior.

**1. SE BENEFICIARAN particularmente de las redes los que trabajen en solitario, como este velador nocturno. La comunicación electrónica crea un cañamazo de interacciones, con independencia del lugar de trabajo o la categoría laboral de los empleados. Porque las conversaciones electrónicas carecen de muchos de los elementos sociales que se ponen de manifiesto en las interacciones cara a cara, cuando las personas se comunican entre sí a través de redes de ordenadores tienden a hablar con mayor franqueza y desenvoltura. Las redes facilitan el acceso a la información de todos los empleados y democratizan las estructuras empresariales. El aprovechamiento de esos medios habrá de plantear a los gerentes cuestiones de responsabilidad y control.**



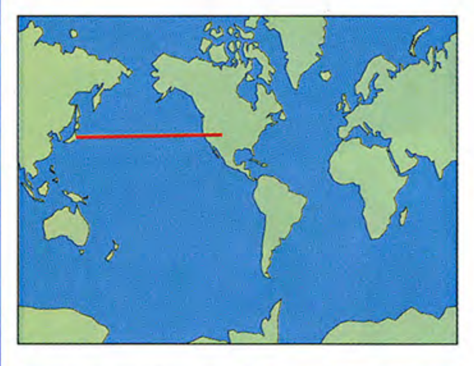
tipo de cuestiones, en particular las concernientes a los cambios en la organización de las empresas, demandan estudios de campo en organizaciones reales que manejan ya esas redes. El análisis de los datos que describen la forma en que cientos de miles de personas utilizan las redes puede ayudar a predecir el comportamiento laboral de otras personas en el futuro, cuando se generalicen las comunicaciones electrónicas. Sobre los resultados obtenidos en los estudios de campo y experiencias de laboratorio, los sociólogos van acumulando pruebas del cambio operado en el trabajo y la organización social con el advenimiento de esa nueva tecnología. El proceso puede parecer sencillo, pero en realidad plantea muchos problemas excitantes. La gente utiliza la tecnología de forma sorprendente y con frecuencia se producen hechos que están en clara contradicción con las previsiones teóricas y con las expectativas empresariales.

Una de las sorpresas mayores llegó con la primera red de ordenadores a gran escala, la ARPANET, establecida en las postrimerías de los años sesenta. La red ARPANET fue desarrollada por ARPA, ente federal sobre proyectos de investigación de punta y dependiente del Departamento de Defensa. Se pretendía con ella facilitar el acceso de los investigadores de las universidades, centros y laboratorios a ordenadores instalados lejos de las instituciones. Un servicio del sistema, su "correo electrónico", facilitaba la intercomunicación entre usuarios, pero no mereció ninguna atención especial.

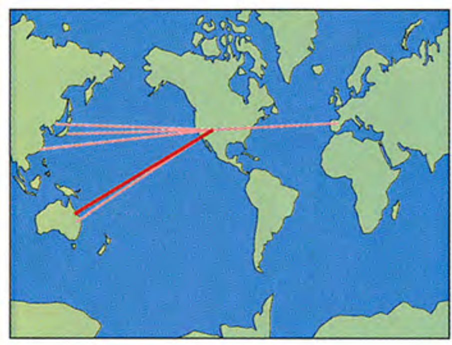
Lo que no impidió que el correo electrónico se convirtiera de inmediato en uno de los aspectos mejor aceptados de ARPANET. Científicos de todo el país aprovecharon la red para intercambiar ideas con espontaneidad y libertad absolutas. Los doctorandos discutían sus problemas y compartían su experiencia con profesores y otros estudiantes que vivían a muchísimos kilómetros de distancia. Los directores de proyectos de investigación se sirvieron del correo electrónico para coordinar el desarrollo del trabajo con los restantes miembros implicados y mantener contactos con otros equipos de investigación y con las entidades financiadoras. Fruto de todo ello se tendió una auténtica red de comunicaciones, que se llenó de amigos y colaboradores, de los que muy pocos, si alguno, se conocían personalmente. La demanda de más y mejores conexiones de la red aumentó rápidamente.

## Cómo trabaja la gente mediante el correo electrónico

La comunicación global toma cuerpo a través de las redes y el correo electrónico, tal como ilustra el caso de "Sue Jones", un nombre en clave utilizado para denominar a un grupo de trabajo sometido a investigación por las autoras del artículo. En un día normal, "Sue Jones" envía y recibe entre 25 y 100 mensajes por correo electrónico sobre asuntos mercantiles y sociales. Los mapas muestran los enlaces realizados a lo largo de un día, destacando los relacionados con uno de los grupos de trabajo; las pantallas de los ordenadores muestran los mensajes que "Sue Jones" envía y recibe de este grupo de trabajo. En el caso ilustrado, una crisis potencial en el precio de un nuevo producto se resuelve rápidamente mediante la comunicación electrónica. Las redes permiten un contacto más estrecho y fluido entre los empleados que se encuentran trabajando en lugares remotos.



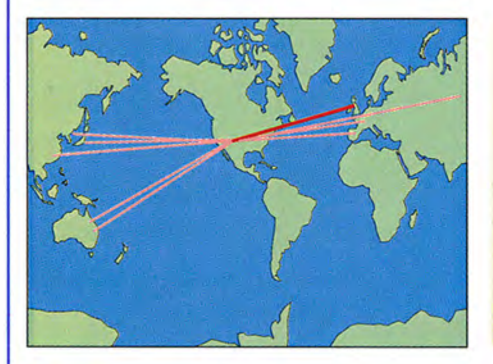
Hora: 7.55
A: Grupo de Desar. de Prod.
De: Ising
Asunto: Resultados de comercialización de Hi Guys. Para variar, es un día maravilloso aquí en Tokyo (llovió durante toda la semana). Todo el documento será transmitido por correo electrónico esta misma tarde. La competencia ofrece su producto más barato.



Hora: 9.10
A: Grupo de Desar. de Prod.
De: jwp@ Suministros AP
Ref.: Resultados del mercado

Nosotros podemos conseguir en Singapur una mercancía atractiva y mucho más barata.

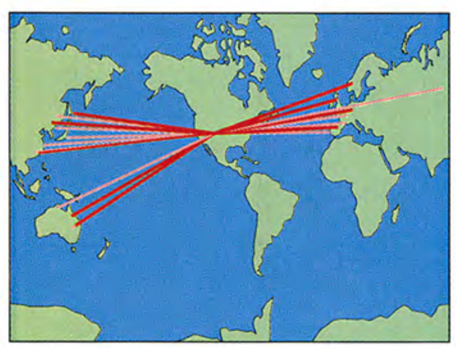
John.



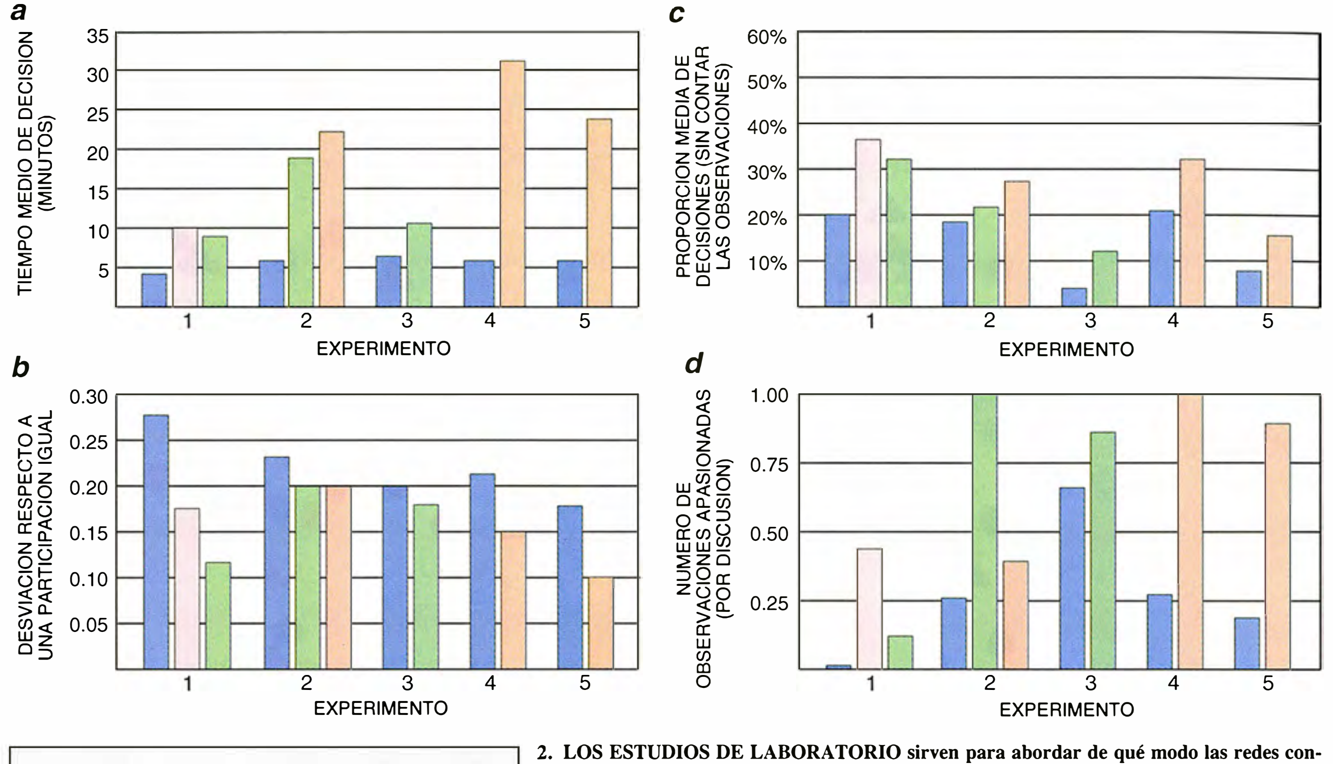
Hora: 10.05
A: Grupo de Desar. de Prod.
De: "Pete Wilson"
Ref.: Resultados del mercado

John,
Gracias por tu sugerencia, pero yo no puedo tolerar ningún error en las previsiones.

Pete Wilson



Hora: 11.00
A: Grupo de Desar. de Prod.
De: "Sue"
Asunto: Eh, no hay problemas.
Hola, grupo.
Yo lo he comprobado.
Podemos utilizar la idea de John para conseguir una mercancía más barata. Además, es una buena venta —¡¡biodegradable...!! Riesgo mínimo.
Sue.




**2. LOS ESTUDIOS DE LABORATORIO sirven para abordar de qué modo las redes condicionan el trabajo en equipo de los empleados. En un pentaensayo acometido por las autoras, se crearon noventa y cuatro grupos con la misión de que alcanzaran un consenso en torno a varios asuntos. Unos grupos tomaron sus decisiones por medios electrónicos, en tanto que otros acordaron la resolución en encuentros personales (cara a cara). Los grupos ligados por red invirtieron más tiempo en llegar a una decisión (*a*), pero estas personas gozaron de un nivel de participación más igualado (*b*) y propusieron más ideas (*c*). La naturaleza abierta de las discusiones electrónicas alentó la expresión de planteamientos muy vehementes, un fenómeno conocido con el nombre de "apasionamiento" (*d*).**

Desde entonces, muchas organizaciones han adoptado redes internas que unen a miles de usuarios situados en lugares diferentes. Algunas se hallan conectadas a INTERNET, red sucesora de la ARPANET. El correo electrónico sigue siendo el servicio más solicitado de las redes.

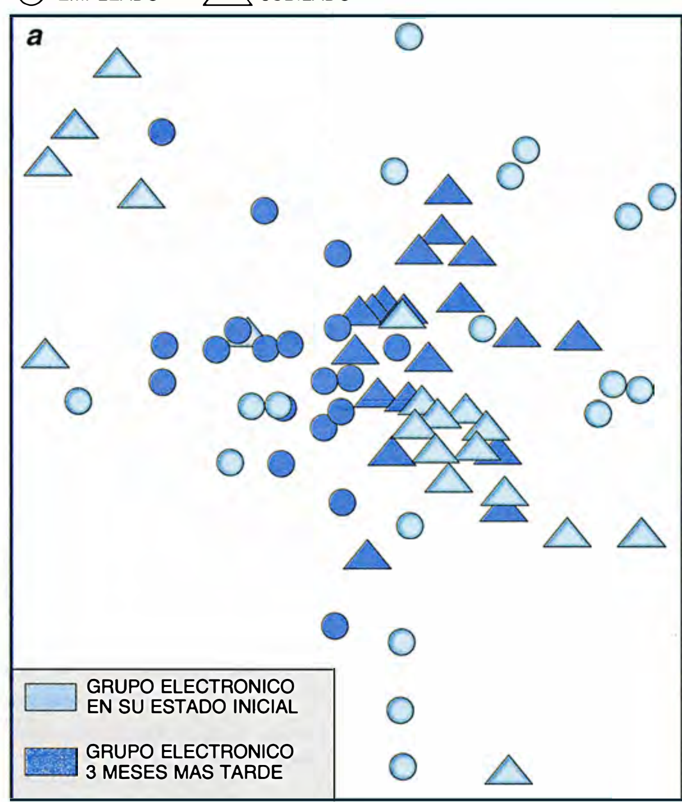
Cualquier persona que tenga una cuenta de ordenador en un sistema de red puede utilizar el soporte lógico del correo electrónico para comunicarse con los otros usuarios de esa misma red. El correo electrónico transmite mensajes a un "buzón" electrónico del receptor. El remitente puede enviar un mensaje a varios buzones a la vez, a nombre de un grupo o a una lista de distribución. Los paneles de boletines electrónicos y las conferencias electrónicas son variantes corrientes del correo electrónico de grupos; estas variantes poseen nombres específicos para identificar los temas o la audiencia. Los paneles de boletines colocan los mensajes que reciben en orden cronológico, a medida que van llegando. Las conferencias ordenan los mensajes según los diferentes temas y agrupan los mensajes para su despliegue.

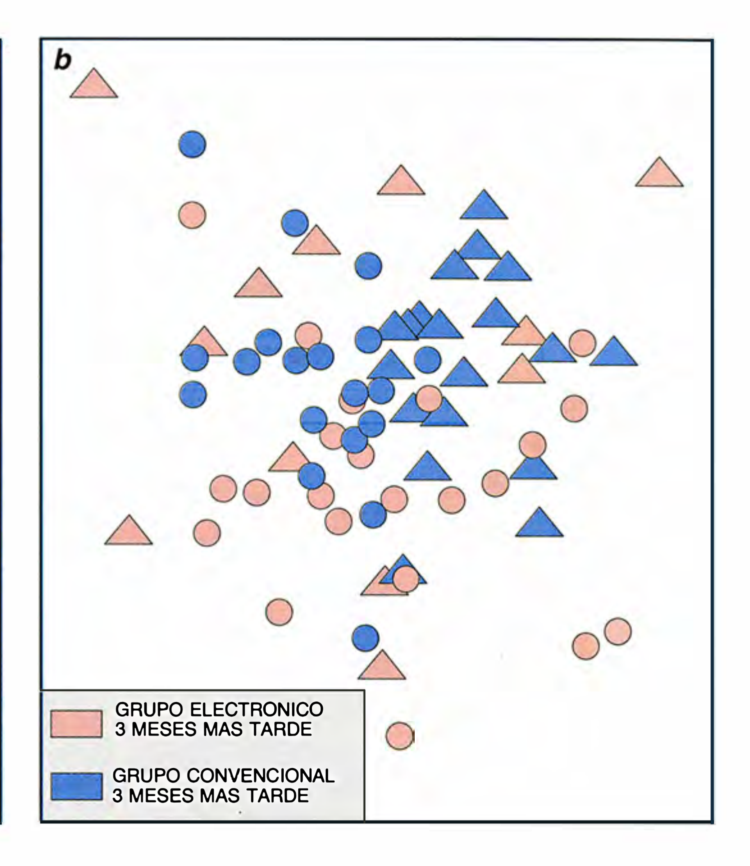
Aunque la tecnología de comunicaciones utilizada en la mayoría de redes es muy similar en todas, existen grandes diferencias en el comportamiento real de las personas que las utilizan, como consecuencia de las opciones elegidas en cada caso por los directivos responsables. En algunas organizaciones que operan con redes, el acceso al correo electrónico es fácil y está abierto a todos. La mayoría de los empleados disponen de terminales de la red en sus mesas de trabajo, y cualquiera de ellos puede enviar correo a otro. Los costes del correo electrónico entran en el capítulo de gastos generales de la empresa y no se cargan sobre los puestos de trabajo ni los departamentos. En las organizaciones con redes abiertas que hemos estudiado, se envía y recibe por término medio entre 25 y 100 mensajes cada día, relacionados con un número comprendido entre 10 y 50 grupos electrónicos diferentes. Estas cifras se mantienen constantes, cualquiera que sea la tarea a desempeñar, la posición jerárquica, la edad e incluso el nivel de habilidad en el manejo de los ordenadores.

En otras organizaciones conectadas a estas redes, los directivos limitan el acceso a las redes o cargan los costes sobre los usuarios, lo que disuade de su empleo. La tecnología no es, por sí misma, impulsora del cambio del acceso libre al restringido; la responsabilidad debe buscarse en las opciones y políticas empresariales.

Ni siquiera en las organizaciones que funcionan según el sistema de libre acceso es tarea fácil predecir los efectos que el uso de redes causa en las comunicaciones. Algunos de los pioneros en el estudio de las comunicaciones a través de redes creían que esta tecnología primaría las tomas de decisión por grupo sobre las basadas en el diálogo frontal, merced a los mensajes por ordenador que consisten en textos simples y directos; por ello, opinábase, las discusiones electrónicas serían más objetivas y racionales y, menos condicionadas por el talante o el carisma de las personas, las tomas de decisiones.

La investigación pinta un cuadro más complejo. En un intercambio electrónico, se diluyen, si no se pierden del todo, los factores sociales y de contexto que suelen regular la dinámica de grupos. Los mensajes electrónicos no proporcionan ninguna información respecto a las caracterís-




ticas del puesto de trabajo, la importancia social, la posición jerárquica, la raza, la edad y la apariencia. El contexto está también muy poco definido debido a que los intercambios formales e informales parecen ser esencialmente iguales. Por supuesto, las personas que utilizan la red pueden tener información externa acerca de los remitentes, receptores y situaciones, pero en la interacción con el ordenador se proporcionan muy pocas pistas sobre tales conocimientos.

En una serie de experiencias llevadas a cabo en la Universidad Carnegie Mellon, comparamos la forma en que pequeños grupos toman decisiones utilizando conferencias por ordenador, correo electrónico y confrontaciones personales. El uso de una red inducía a los participantes a hablar con mayor franqueza y en un clima paritario. No había dos o tres que coparan las intervenciones, según es uso en las reuniones, sino que todos participaban. Además, los grupos enlazados por redes de comunicación generaban más propuestas de actuación que los grupos tradicionales.

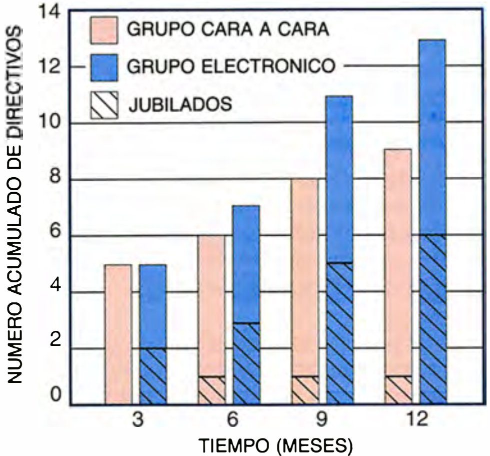
Pero los discursos abiertos y libres presentan sus inconvenientes. El aumento de democracia asociado con las interacciones electrónicas dificulta la toma de decisiones. Nosotros observamos que el tiempo necesario para que un grupo de tres personas tomara una decisión electrónicamente venía a cuadruplicar el invertido en una reunión cara a cara. Hubo un caso en que, ante la imposibilidad de consenso, tuvimos que cortar el experimento por lo sano. La imposibilidad de que una persona interrumpa a otra retrasa la toma de decisiones y aumenta los conflictos cuando algunos intentan dominar el control de la red. Además, la gente tiende a expresar opiniones extremas y se enfada con mayor facilidad en un contacto electrónico, donde no se ven las caras, que cuando se sientan juntos alrededor de una mesa. Es el fenómeno, así se llama, de "apasionamiento".

Hemos comprobado que las comunicaciones electrónicas condicionan la influencia social de las personas. El estatuto social o laboral de los individuos constituye un potente regulador de la interacción de grupos. Los miembros de un grupo se muestran deferentes para con las personas de rango mayor y tienden a seguir las líneas que marcan. El contenido de los discursos y el comportamiento de los integrantes de un grupo se hace más formal en presencia de gente de rango. A su vez, las personas con estatuto elevado hablan e influyen más en los análisis en grupo que las personas con rango inferior.

Dado que las conversaciones electrónicas atenúan las pistas contextuales, cabe esperar que los efectos de las diferencias de rango en el seno del grupo se reduzcan también. En un ensayo reciente dirigido por Vitaly Dubrovsky, de la Universidad de Clarkson, y Beheruz Sethna, de la Universidad de Lamar, solicitamos de ciertos grupos donde se mezclaban rangos que tomaran decisiones por vía electrónica y en reunión personal (cara a cara). Los resultados confirmaron que la proporción de intervenciones y la influencia de los individuos de estatuto superior caían en la comunicación a través del correo electrónico.

¿Se trata de un fenómeno positivo? Cuando los miembros de estatuto más alto poseen menos experiencia, el sistema democrático resulta indicado en la toma de decisiones. Pero si quienes tienen mayor rango gozan, además, de mayor cualificación para tomar decisiones, no sería aconsejable optar por la vía del consenso.

Shoshanah Zuboff, de la Escuela de Estudios Empresariales de Harvard, investigó qué efectos producía en una compañía la nivelación de rangos característica de las reuniones electrónicas. Quienes se consideraban menos agraciadas, desde el punto


**3. EMERGEN ESTRUCTURAS DINAMICAS de grupo cuando las personas se comunican entre sí por medios electrónicos. Estos diagramas ilustran el comportamiento de dos grupos experimentales, formado cada uno de ellos por una combinación de empleados en activo y jubilados. Uno de los grupos trabajaba mediante contactos personales, en tanto que el otro lo hacía a través de una red. Los miembros que poseían la mayor parte de la información y contactos sociales aparecen en la zona central de los gráficos. A medida que transcurre el tiempo, los grupos electrónicos adquieren mayor cohesión social (*a*). El diagrama (*b*) compara la situación del grupo electrónico y del grupo convencional tres meses después de iniciado el proyecto y demuestra que los jubilados en particular se integran mucho mejor en el grupo electrónico. Por otra parte, el uso de una red de ordenadores estimuló a más gente a tomar papeles de liderazgo (*c*).**

de vista físico (belleza, talla, voz), afirmaban hallarse más animadas y seguras cuando actuaban a través de la red.

Se han propuesto varias hipótesis alternativas para explicar el carácter abierto y democrático de las reuniones electrónicas. Los partidarios de la vía electrónica, dice una, son infantiles e indisciplinados, aunque esta hipótesis no explica los resultados experimentales que demuestran que las personas así rebajadas hablan más abiertamente con un ordenador que en una reunión cara a cara. Para otra hipótesis, los mensajes de texto demandan un lenguaje más contundente para expresar un hecho; esta teoría explicaría el apasionamiento, pero no la reducción de las diferencias sociales y de estatuto. Quizás el razonamiento más fundado sea aquel que atribuye la desinhibición de las personas tras la pantalla a la pérdida de contexto social y de miedo al juicio de otros que los vieran. En consecuencia, dedican mucho menos tiempo a cuidar las apariencias y se muestran más coherentes.

Cuando se ha pedido a la gente que describa su propio comportamiento, se comprueba la relajación del envaramiento social. En uno de nuestros experimentos, presentamos un cuestionario de autoevaluación al que había que responder con lápiz y papel o a través del correo electrónico. Aquellas personas que, elegidas al azar, debían contestar electrónicamente, confesaron comportamientos sociales más indeseables: uso de drogas ilegales o comisión de pequeños delitos. John Greist y su equipo, de la Universidad de Wisconsin, encontraron una franqueza e igualitarismo similar en las actitudes con las historias médicas de pacientes clínicos. Quienes respondían a una entrevista por ordenador sobre su historia médica reconocían un comportamiento social y físico menos encomiable que los que contestaban las mismas cuestiones a un médico.

De tales estudios se infiere que la gente se sincera y no omite información acerca de los síntomas y los comportamientos indeseables cuando se les interpela a través de un ordenador.

¿Son también más auténticas y ciertas las respuestas? Los resultados de una investigación sobre el consumo de alcohol llevada a cabo por Jennifer J. Waterton y John C. Duffy, de la Universidad de Edimburgo, lo abonan. En las encuestas tradicionales, la gente sólo confiesa que bebe la mitad del alcohol que las cifras reales de ventas atestiguan. Waterton y Duffy compararon los resultados de entrevistas por ordenador y entrevistas personales en una encuesta relacionada con el consumo de alcohol. La gente que, seleccionada al azar, respondía por ordenador confesaba un consumo de alcohol más alto que la que había hablado personalmente con los entrevistadores. Los informes sobre el consumo basados en los datos obtenidos con ordenadores encajaban mucho mejor con las cifras reales de ventas de alcohol que los obtenidos mediante entrevistas cara a cara. En resumen, a pesar del aire impersonal que parece revestir las comunicaciones electrónicas, los humanos se hallan paradójicamente más cómodos cuando se expresan mediante esa vía; menos tímidos y más participativos, expresan más opiniones e ideas y manifiestan más libremente sus emociones.

Debido a estos efectos sobre el comportamiento, las organizaciones están descubriendo nuevas aplicaciones para las actividades de los grupos electrónicos. Los ordenadores pueden constituir una herramienta valiosa para diseñar y llevar a cabo investigaciones sobre situaciones singulares, en las que mucha gente se encuentra en un estado de ansiedad, y poder dar cuenta de sus verdaderos sentimientos y opiniones.

De la misma forma en que la dinámica de las comunicaciones electrónicas difiere de las verbales o epistolares, los grupos electrónicos no son iguales a los grupos tradicionales cuyos miembros utilizan ordenadores. Es muy probable que los empleados de una compañía reticularmente informatizada pertenezcan a uno de varios grupos electrónicos con los mismos horarios y categorías de trabajo. Algunos de estos grupos actúan a modo de extensiones de los grupos de trabajo existentes, proporcionando así las bases necesarias para que los miembros del grupo se comuniquen entre sí en las reuniones cara a cara. Otros grupos electrónicos ponen en contacto mutuo a individuos que no se conocían directamente, ni habían tenido la oportunidad de encontrarse.

Los grupos electrónicos guardan cierto parecido con los grupos sociales no electrónicos. Unos y otros mantienen contactos permanentes, desarrollan sus propias normas de conducta y originan presiones similares. Pero no es raro que los primeros consten de más de un centenar de integrantes, amén de fundarse en relacionar individuos que nunca se han encontrado.

Los empleados de las empresas conectadas a una red nacional (INTERNET) o a una comercial pueden pertenecer a grupos electrónicos constituidos por miembros procedentes de distintas compañías. En Estados Unidos, hay unas 37.000 empresas conectadas a USENET, red que mantiene intercambios entre unos 1500 grupos electrónicos de noticias. Brian K. Reid, de la compañía Digital Equipment, ha estimado que al menos 1,4 millones de personas de todo el mundo lee el material que produce uno de estos grupos de noticias.

Apenas está comenzando a dejarse sentir el efecto del tendido de la red en la configuración de los puestos de trabajo. La morfología de la mayoría de las empresas viene condicionada por imposiciones ajenas al mundo electrónico. Los puestos de trabajo interdependientes deben situarse en proximidad física. Las estructuras de mando formales especifican de

quién depende cada uno de ellos, quién asigna las tareas a cada persona y qué personas tienen acceso a cada tipo determinado de información. Esa rigidez refuerza la centralización de la autoridad y configura el grado en que la información se comparte, el número de niveles y relaciones internas de una organización y la estructura de las relaciones sociales.

Las organizaciones que incorporan redes podrían adquirir una estructura más flexible y menos jerárquica. La experiencia de campo acometida por Tora K. Bikson, de Rand Corporation, y John D. Eveland, de Claremont Colleges, apoya esta hipótesis. Crearon dos grupos de trabajo en una gran empresa de servicios, con el propósito de analizar los problemas que planteaba la jubilación de sus empleados. Cada grupo constaba de 40 individuos, la mitad jubilados y la otra mitad en activo, aunque próximos a la jubilación. Había una sola diferencia: un grupo trabajaba con redes de ordenadores y el otro no.

Ambos grupos formaron subcomités, si bien el grupo que utilizaba redes los creó en mayor número y asignó a sus miembros a más de un subcomité. La red, por otro lado, facilitó la organización de los subcomités en una estructura matricial solapante. En el curso de su trabajo, este grupo constituyó nuevos subcomités, y decidió continuar las reuniones incluso más allá de que terminara el año oficialmente establecido. El grupo de trabajo que utilizaba redes permitió también incrementar las relaciones de la empresa con los ya jubilados. Aunque es posible que no todos los grupos electrónicos se mostraran tan flexibles como los considerados en este trabajo, es evidente que la eliminación de las restricciones que caracterizan los contactos cara a cara facilita la erección de nuevas agrupaciones.

Otro efecto de la reestructuración por incorporación de la red podría consistir en cambiar los sistemas de acceso a la información en la empresa. La compañía tradicional recurre a sistemas formales para el mantenimiento de los ficheros y la distribución de la información. Buena parte de la información que se maneja allí consiste en experiencias personales que no aparecen nunca en el sistema de distribución establecido: las historias de problemas y dificultades contadas por los representantes de servicio (que no se recogen en ningún archivo), las peculiaridades del funcionamiento real de la maquinaria (que no está escrito en ningún protocolo) o el chismorreo sobre comportamiento laboral (que no se describe en ningún manual de política de personal).

En el pasado, la transmisión de este tipo de información personal venía determinada por la proximidad física y la relación social. Por lo mismo, los empleados más alejados o con conexiones deficientes no han tenido acceso a la capacitación para tal o cual tarea. Ese conocimiento callado podría representar una fuente de recursos de información adicional en las grandes empresas. Los grupos electrónicos proporcionan un foro adecuado para compartir estas experiencias, sin limitaciones de orden espacial o social.

Una clase importante de flujo de



**4. LOS ENLACES ELECTRONICOS benefician grandemente a los empleados que trabajan lejos de la sede central de la empresa. En el ejemplo que se ilustra, los empleados de las sucursales de Tandem Computers, Inc., tienen acceso a los archivos a través de una red. Los círculos indican el número de veces que cada sucursal consultó uno de estos ficheros (en el que se han almacenado una amplia serie de preguntas habituales y las respuestas que los expertos de la compañía dan a estas preguntas, todo ello en relación con los diferentes productos y servicios de la empresa) a lo largo de todo un año; cuanto mayor es el uso de este fichero, tanto mayor es el correspondiente círculo. Resulta evidente que los empleados de las sucursales más alejadas de la sede central, en las que la presencia de personal cualificado es bastante limitada, son los que más utilizan la red.**

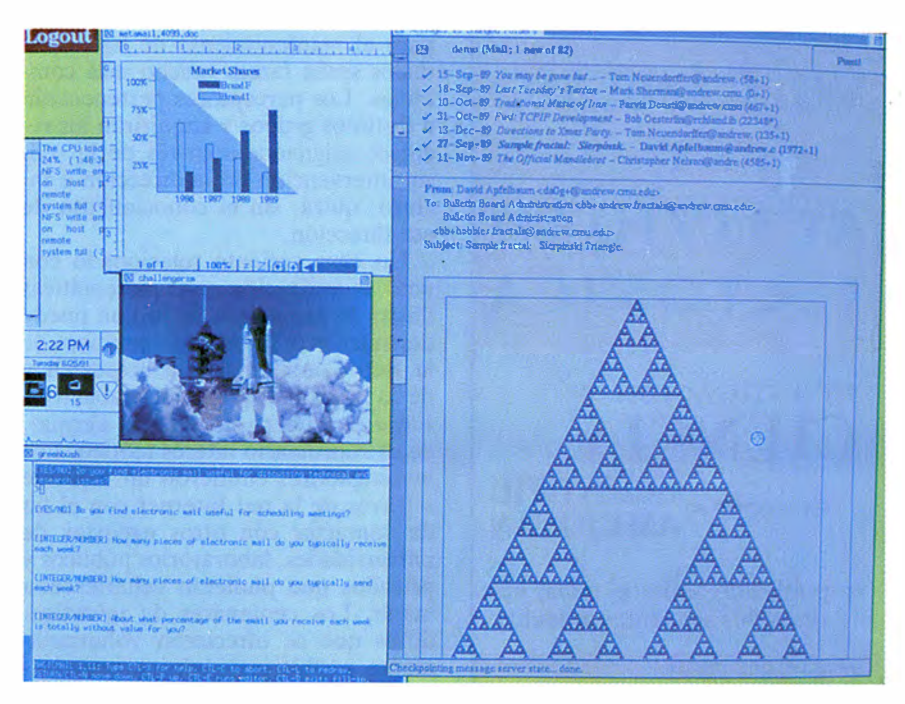
información se inicia con la pregunta "¿sabe alguien cómo... ?". Mensaje que aparece con frecuencia en las redes de ordenadores. Un remitente podría transmitir una petición electrónica de información a toda la empresa, a una lista de distribución o a un tablero de boletines. Cualquiera que viera el mensaje podría responder. Con David Constant, hemos estudiado esa suerte de preguntas en una red de la empresa Tandem Computers, con unos 10.000 empleados en todo el mundo: diariamente se transmitía una media de cinco mensajes de ésos a una lista general de distribución de la compañía.

Las peticiones de información suelen proceder de los técnicos de reparaciones o de los representantes de ventas que solicitan ayuda que no hallan ni en los folletos ni en su propio lugar de trabajo. En el caso de la empresa Tandem, una media de ocho empleados envían respuestas por correo electrónico a este tipo de preguntas. Algo menos de un 15 por ciento de las personas que contestan tienen que ver con el solicitante o incluso se encuentran en la misma ciudad.

Las respuestas obtenidas pueden redistribuirse electrónicamente e incorporarlas en un fichero de la red para su consulta pública. Tandem lleva este proceso de información compartida un poco más allá: mantiene un archivo electrónico de preguntas y respuestas, accesible desde cualquier punto de la empresa. Posee, además, un depósito de información y experiencias de trabajo que es accesible sin límites en el espacio y en el tiempo. Thomas Finholt ha comprobado que el archivo se consulta más de un millar de veces al mes, en particular por los empleados que trabajan lejos de las oficinas centrales.

El acceso discrecional a la información en empresas que operan con redes pone de manifiesto un comportamiento antagónico al desarrollado por las no informatizadas hasta ese nivel. Las personas que formulan las preguntas admiten abiertamente su ignorancia ante centenares o quizás miles de personas. Las que contestan ayudan a quienes no conocen, sin ninguna expectativa de obtener un beneficio directo con ello.

Cabría preguntarse por qué la gente responde con tanta facilidad a las peticiones de información planteadas por extraños. Una parte de la explicación radica en el hecho de que las redes electrónicas hacen que el coste de las respuestas, medido en tiempo y esfuerzo invertido, es bajísimo. Por otra parte, las redes de acceso abierto




**5. EL CORREO ELECTRONICO AVANZADO, como el representado por este sistema experimental de la empresa Bellcore, hará posible la transmisión de gráficos, figuras en movimiento, programas autocontenidos de ordenador y grabaciones de audio. Todas estas características ampliarán las aplicaciones de las comunicaciones a través de las redes de ordenadores. Estos nuevos sistemas pueden también restablecer algunos de los factores sociales que están ausentes en el correo electrónico y, por tanto, modifican el comportamiento de los usuarios de estos sistemas.**

favorecen el flujo libre de información. La gente que responde a las preguntas parece creer que la compartición de información refuerza a la comunidad electrónica en general y proporciona un medio de información mucho más rico. El resultado de todo ello es una especie de altruismo electrónico, disipando los temores de que las redes de ordenadores debiliten el tejido social de las organizaciones.

Los cambios que la red induce en la comunicación podrían alterar sustancialmente las relaciones entre empleados y empresa, la estructura de la compañía y la naturaleza de su gestión. Los directivos y técnicos de una empresa suelen mantener estrechos contactos sociales y de canje de información en el seno de la propia compañía y en el ámbito de grupos profesionales afines más amplios. Por el contrario, los empleados que residen en la periferia de las empresas, en virtud de su localización geográfica, las exigencias de su trabajo o sus atribuciones personales carecen de suficientes oportunidades para establecer contactos entre sí.

Es probable que la liberación de los impedimentos contra la comunicación derivados de la distancia física o social afecte a los empleados de la periferia todavía más que a los que trabajan en las sedes centrales. Con Charles Huff, del Colegio Universitario de St. Olaf, estudiamos ese fenómeno entre los empleados municipales de Fort Collins, Colorado. Aquellos que usaban frecuentemente el correo electrónico se declararon más comprometidos con su trabajo y sus compañeros que los que lo hacían más raramente. Esta correlación era intensa en el caso de los trabajadores por turnos, que por tal circunstancia tenían menos oportunidades de ver a sus compañeros que los trabajadores de horario fijo.

Las empresas se constituyen tradicionalmente alrededor de dos conceptos clave: la división jerárquica de objetivos y tareas y la estabilidad de las relaciones entre los empleados en el transcurso del tiempo. En las empresas estructuradas en torno a una red, la asignación de las tareas puede revestir formas más flexibles y dinámicas. La jerarquía no desaparecerá, sino que aumentará gracias al tejido de interconexiones que hilvane toda la empresa.

Los ejecutivos suelen hoy conocer a las personas que dirigen y dirigen a las personas que conocen. En el futuro, sin embargo, los directivos de los grupos electrónicos deberán hacer frente al reto que supone trabajar con gente a la que no han conocido nunca. La asignación de recursos a los proyectos y la asignación de créditos

VULCANISMO
Y
ACTIVIDAD
TECTONICA

INVESTIGACION Y
CIENCIA
*Edición española de* SCIENTIFIC AMERICAN

ha publicado sobre el tema, entre otros, los siguientes artículos:

- **Riesgo volcánico,** Juan Carlos Carracedo. *Número 139, abril 1988*
- **Inversiones magnéticas y dinamo terrestre,** Kenneth A. Hoffman. *Número 142, julio 1988*
- **Terremotos profundos,** Cliff Frohlich. *Número 150, marzo 1989*
- **Gigantescas cataratas oceánicas,** John A. Whitehead. *Número 151, abril 1989*
- **Previsión sísmica,** Ross S. Stein y Robert S. Yeats. *Número 155, agosto 1989*
- **Archipiélago inquieto,** Ciencia y Sociedad. *Número 155, agosto 1989*
- **Vulcanismo en los rifts,** Robert S. White y Dan P. McKenzie. *Número 156, septiembre 1989*
- **Hundimiento laminar,** Ciencia y Sociedad. *Número 156, septiembre 1989*

para el mantenimiento de las actividades serán tareas mucho más complejas. Los perceptores pertenecerán a distintos grupos y adquirirán los recursos asignados a través de la red, sin intervención de la dirección e incluso, quizá, sin el conocimiento de esa dirección.

Un caso reciente relacionado con una investigación en matemáticas ilustra la naturaleza de lo que puede depararnos el futuro. Matemáticos de la Bell Communications Research y de la Digital Equipment trabajaban sobre el número noveno de Fermat, de extraordinario interés teórico. Los investigadores emitieron un mensaje a través de la red Internet con el fin de contactar con otros expertos de universidades, laboratorios públicos y privados que pudieran echarles una mano. Los centenares de investigadores que se ofrecieron voluntariamente recibieron —vía correo electrónico— un paquete informático y una parte del problema a resolver; cada uno envió su parcial solución a través del correo electrónico.

Cuando los resultados establecidos por todos se combinaron, el mensaje que anunciaba los resultados finales del proyecto contenía un reconocimiento entrañable:

"Nos gustaría expresar nuestro agradecimiento a todos los que han contribuido a calcular los diferentes ciclos de este proyecto, pero no podemos: tan sólo tenemos constancia de la persona que ha instalado y manejado los códigos en cada sitio. Si usted es una de las personas que nos han ayudado, estaríamos encantados de recibir sus noticias. Por favor, envíenos su nombre y datos tal como le gustaría que aparecieran en la versión final de este trabajo científico. (Mensaje enviado por Mark S. Manasse el 15 de junio de 1990)".

La interconexión en el ámbito de la empresa suele limitarse a la comunicación de datos, con frecuencia relacionados con aplicaciones económicas o financieras: intercambio de datos electrónicos, transferencia de fondos por medios electrónicos o procesamiento remoto de transacciones financieras. La mayoría de las empresas no han empezado siquiera a considerar las posibilidades y los retos que supone la conexión de todos sus empleados a través de una red.

Los directivos de las empresas que han dado ya ese paso han respondido de muchas maneras diferentes a los cambios que afectan a su autoridad y control. Algunos directivos han instalado estas redes por razones de eficiencia, pero ignoran su potencial para cambios más profundos. Los hay que han prohibido la constitución de grupos de análisis interrelacionados, aunque existen también quienes han alentado la utilización de la red para ampliar la participación, generalizando la responsabilidad hasta los niveles inferiores.

Una empresa democrática requiere empleados competentes, responsables y comprometidos. Demanda también nuevas formas de distribuir la confianza y la autoridad. Las ideas creativas y los comportamientos inadecuados aumentan de forma impredecible. Los directivos tendrán que poner en marcha nuevos tipos de incentivos para los trabajadores y desarrollar estructuras organizativas capaces de afrontar todos estos cambios.

La tecnología de las redes está cambiando muy deprisa. Es muy probable que pronto se pueda disponer de correo electrónico que incluya gráficos, fotografías, sonido y vídeo, avances que permitirán reintroducir algunos de los elementos del contexto social que están ausentes en las comunicaciones electrónicas actuales. Aun así, las interacciones por vía electrónica no podrán duplicar nunca a las llevadas a cabo cara a cara.

A medida que vaya aumentando el número de personas con capacidad de acceso a las redes, el número y tamaño de los grupos electrónicos irá creciendo de forma espectacular. Para atender a esta demanda, será preciso que los directivos diseñen las conexiones necesarias. La empresa del futuro dependerá no sólo de la tecnología utilizada por estas redes, sino también de la forma en que esos mismos directivos aprovechen esta oportunidad para transformar la estructura del trabajo.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

WHAT DO COMPUTERS DO? James Rule y Paul Attewell en *Social Problems*, vol. 36, n.º 3, págs. 225-241; junio de 1989.

INTELLECTUAL TEAMWORK: THE SOCIAL AND TECHNOLOGICAL FOUNDATIONS OF COOPERATIVE WORK. Dirigido por Jolene Galegher, Robert E. Kraut y Carmen Egido. Lawrence Erlbaum Associates, 1990.

CONNECTIONS: NEW WAYS OF WORKING IN THE NETWORKEED ORGANIZATION. Lee Sproull y Sara Kiesler. MIT Press, 1991.

SOCIAL RELATIONSHIPS IN ELECTRONIC COMMUNITIES. Charles Dunlop y Rob Kling en *Computerization and Controversy: Value Conflicts and Social Choices*. Dirigido por Charles Dunlop y Rob Kling. Academic Press, 1991.

# Ordenadores, redes y empresa

*Las redes de ordenadores están abriendo nuevos tipos de mercado y aportando aires nuevos a la dirección de empresas. El resultado será un notable cambio en la estructura corporativa y en el estilo de dirección*

Thomas W. Malone y John F. Rockart

Hace unos 150 años, comenzaba en los Estados Unidos y Europa un proceso de cambios en la economía como nunca se había conocido desde la Edad Media. Nos referimos a la revolución industrial. Los países industrializados están dando los primeros pasos hacia otra transformación que podría acabar adquiriendo parejo relieve.

Pero, ahora, con una salvedad crítica. Fueron los cambios en la economía de la producción y del transporte los que llevaron las riendas de la revolución del siglo pasado. La que hoy comienza no viene impulsada por cambios en los sistemas de producción sino por transformaciones en los procesos de coordinación. Donde quiera que haya personas trabajando juntas, deberán comunicarse, tomar decisiones, asignar recursos y colocar los productos y servicios en el lugar oportuno en el momento adecuado. Directivos, oficinistas, vendedores, compradores, contratistas, contables —es decir, casi todo el que trabaja— deben establecer una actividad de comunicación.

En estas actividades que dependen de la comunicación es donde la tecnología informática encuentra una de sus principales aplicaciones y donde dejará sentir su peso. Recortando drásticamente los costes de coordinación y aumentado su velocidad y calidad, las nuevas técnicas intensificarán la coordinación entre los individuos, entablarán coordinaciones inexistentes y promoverán estructuras empresariales en las que la comunicación tenga un papel destacado.

El corazón de las nuevas técnicas es la red de ordenadores. El vulgo ve en éstos unas máquinas que asimilan información, calculan y presentan resultados. Pero no se recoge ahí el papel esencial de los ordenadores actuales, ni menos el que desempeñarán en el futuro. Las aplicaciones más importantes del ordenador conciernen a las tareas de coordinación: registrar pedidos, inventarios y contabilidad. Además, conforme vayan trabándose unos con otros, iremos encontrando nuevas maneras de coordinar las tareas laborales. En suma, ordenadores y redes podrían pasar a la historia no tanto bajo el epígrafe "técnica de la computación" cuanto incluidos en el apartado "técnica de la coordinación".

Para entender el derrotero que puede tomar la situación a medida que se va depurando la técnica de la información y abaratándose sus costes, recordemos qué ocurrió con la técnica del transporte. Primero supuso la sustitución de los medios antiguos por los nuevos. La gente empezó a viajar en tren y automóvil, abandonando carros y caballerías.

La mejora de la técnica trajo consigo algo más que la mera sustitución. Apareció un efecto de segundo orden: se empezó a viajar más. Los desplazamientos hasta el lugar de trabajo se hicieron más largos. Los viajes de negocios a puntos remotos y las visitas a parientes o amigos de lugares lejanos se tornaron más frecuentes.

El uso creciente del medio de transporte acabó por acarrear un tercer efecto: el nacimiento de unas estructuras sociales y económicas de "transporte intensivo". Estas estructuras, como son las ciudades-dormitorio y los centros comerciales, no hubieran sido posibles de no contarse con unos medios de transporte cómodos y baratos.

El perfeccionamiento de la técnica de la coordinación comporta similares consecuencias. De primer orden es la reducción de costes de coordinación y la irrupción de tecnología de información en la coordinación humana. Así, los sistemas de proceso de datos permitieron prescindir de miles de empleados en las oficinas de bancos y de compañías de seguros. A su imagen, los ordenadores han reemplazado los libros de existencias y pedidos, se encargan de repartir el trabajo y están programados para asignar prioridades en cada puesto de trabajo. En un plano más general, la predicción de que, a largo plazo, los ordenadores eliminarían los directivos intermedios comienza a hacerse realidad.

Un efecto de segundo orden que ejerce la reducción del coste de la coordinación tiene que ver con el mayor uso que se hace de la coordinación. Sirva de muestra el sistema de reservas actual de las compañías aéreas: facilita que las agencias de viajes consideren más combinaciones de vuelos para un determinado cliente. Estos sistemas han provocado una eclosión de las tarifas especiales y de ajustes de precios. Con la ventaja añadida de que el acceso a la información, actualizada al minuto, de las ventas de pasajes en todas las líneas permite ajustar el sistema de tarifas para maximizar beneficios.

La compañía de ascensores Otis, por citar otro ejemplo, ha aumentado su nivel de coordinación para mejorar el servicio de mantenimiento que ofrece a sus clientes. Gracias a su sis-

THOMAS W. MALONE y JOHN F. ROCKART, ambos del Instituto de Tecnología de Massachusetts, estudian los efectos de la informatización en los negocios. Malone, que dirige el centro de coordinación científica del MIT, se doctoró en la Universidad de Stanford. Rockart estudió empresariales en la Universidad de Harvard y se doctoró en el MIT, donde dirige un centro de investigación de sistemas informáticos, tarea que comparte con la asesoría a grandes empresas.

**1. EL PARQUET de la Bolsa de París hierve de actividad (*arriba*), como el de muchos otros corros. El de la Bolsa Internacional de Londres, con el sistema de mercado electrónico, funciona, por contra, a un ritmo bastante tranquilo (*abajo*). La distinción refleja la manera en que las redes han comenzado a reestructurar la forma de negociar las transacciones.**

Corbeille
Groupe A
Groupe B
Groupe C
Groupe D
Groupe E
13 08

tema Otisline, telefonistas que hablan varios idiomas reciben las peticiones a través de un número de teléfono al que es gratis llamar. Las telefonistas toman nota de las averías en una base de datos y luego expiden electrónicamente las órdenes de reparación a los representantes locales.

Esta disponibilidad de datos en tiempo real ha mejorado la gestión de las reparaciones. Por poner un caso, si hubo que reparar en la última semana una pieza en ocho de cada cien ascensores, la compañía puede reemplazarla como medida preventiva en los restantes ascensores. Aunque esta clase de correlaciones de datos tan extensas ya eran posibles antes, el grado de comunicación y coordinación que requerían era desproporcionado. Ahora, las llamadas de mantenimiento han caído en casi un 20 por ciento.

En ocasiones, el efecto de segundo orden del aumento de la demanda desbanca al efecto de primer orden que es la sustitución. En uno de los casos que hemos estudiado, un sistema de reuniones por ordenador ayudó a prescindir de un escalón de mandos intermedios. Pocos años más tarde, sin embargo, se habían creado casi el mismo número de puestos de trabajo —para otras personas diferentes con el mismo rango laboral—. Los nuevos especialistas acometieron proyectos que no se habían considerado antes. Evidentemente, los recursos de dirección que ya no son necesarios para la mera comunicación pueden aprovecharse para tareas más complejas de coordinación.

Un efecto de tercer orden de la reducción del precio de la coordinación lo tenemos en la constitución de estructuras transidas de un mayor grado de comunicación. En la empresa Frito-Lay se ve un caso paradigmático. La estudiaron Lynda M. Applegate, de la Escuela de Estudios Empresariales de Harvard, y otros. En Frito-Lay, unos 10.000 repartidores registran las ventas de cada uno de los 200 productos de la casa, en unos ordenadores portátiles. Cada noche, la información recogida se transmite a un ordenador central. A su vez, el ordenador central transmite información sobre los cambios de precio y los productos de oferta a los ordenadores portátiles que se utilizarán en la venta-reparto del día siguiente. Cada semana, el ordenador principal resume la información centralizada que ha recogido y la combina con datos externos de las ventas de las marcas de la competencia. Los directivos tienen acceso a esa información a través de un sistema ejecutor preparado a tal efecto.

La disponibilidad de esos datos ha posibilitado que la empresa traslade las decisiones clave desde los cuarteles generales de la compañía hasta cuatro centrales de zona y docenas de jefes de distrito. Los directivos, además de comparar ventas reales con objetivos marcados, sugieren cambios en la estrategia de ventas a sus inmediatos superiores. Esta estructura global de comunicación intensiva sólo pudo crearse en los últimos años, con el abaratamiento de los ordenadores portátiles, los programas de información, los ciclos de ordenador y los equipos de telecomunicaciones.

Las estructuras de coordinación intensiva no se limitan a establecer conexiones entre integrantes de una empresa. Las nuevas tienden lazos entre diferentes compañías. Así ha ocurrido con el sector textil estadounidense. De acuerdo con la memoria presentada por Janice H. Hammond, de la Escuela de Estudios Empresariales de Harvard, y otros, estas conexiones electrónicas enlazan las compañías a lo largo de toda la cadena de producción, desde los proveedores de fibras (como lana y algodón) hasta los comercios que venden la prenda al consumidor, pasando por los telares donde se teje la fibra y los talleres en los que se cosen las telas.

Cuando tales redes se hallen a ple-



**2. LA CENTRAL DE RESERVAS de Rosenbluth Travel, en Filadelfia, transmite información de los viajes a una "trastienda", que coordina las actividades de otras agencias de todo el mundo. La información sobre la demanda queda disponible inmediatamente; por consiguiente, las firmas interconectadas responden al mercado más eficaz y provechosamente que las agencias solitarias.**

no rendimiento, facilitarán la rápida respuesta empresarial a la demanda: cuando se venda un jersey en Nueva York, un aparato que lea el código de barras automáticamente cursará un pedido que activará los envíos y actividades de producción remontándose hasta el almacén de lana de Carolina del Sur. Esta nueva estructura multiorganizacional ayudará a reducir los costes de inventario en toda la cadena de producción. En conjunto, la industria textil al por menor gasta unos 25.000 millones de dólares al año en costes de inventario; con medidas de ese tenor puede ahorrarse hasta la mitad de esa cifra.

A veces, la técnica promueve la creación de redes interorganizativas, no sólo entre compradores y proveedores sino incluso entre competidores en potencia. Eric K. Clemons, de la Universidad de Pennsylvania, ha estudiado el caso de Rosenbluth International Alliance, un consorcio de agencias de viajes a lo largo y ancho del mundo que comparten registros de clientes, servicios y programas informáticos. El consorcio proporciona, además, una línea de teléfono gratis a la que llamar en caso de apuro desde los principales países del mundo; la respuesta es en inglés. Esta asociación de compañías independientes, con el epicentro en Filadelfia, gestiona todos los detalles de los viajes internacionales y los encuentros de personas procedentes de muchos puntos del globo.

Las empresas textiles de la zona de Prato (Italia) ilustran una clase similar de consorcio interempresarial. Michael J. Piore y Charles F. Sabel, del Instituto de Tecnología de Massachusetts, explican que la actividad de unos pocos telares grandes se desmembró en muchas pequeñas empresas, en parte coordinadas entre sí por conexiones electrónicas. Esta red puede ajustarse con flexibilidad a los cambios en la demanda, desviando pedidos desde un telar sobrecargado a otro cuya capacidad no se emplee a fondo. Esta estructura también saca partido de la motivación capitalista de los propietarios: en los telares pequeños, los beneficios del dueño están más en consonancia con sus propios esfuerzos que en los telares grandes.



**3. UN REPARTIDOR de Frito-Lay, Inc., introduce datos del inventario en un ordenador portátil. La información se combinará con datos similares procedentes de otros 10.000 repartidores y se brindará a los responsables de la empresa a la mañana siguiente. La rápida disponibilidad de los datos ha permitido a Frito-Lay descentralizar las decisiones sobre precios e inventarios. En vez de las oficinas centrales, son los jefes de cuatro áreas y los encargados de distrito quienes establecen los precios; los repartidores deciden las cuantías de cada producto.**

Como muestran estos ejemplos, la tecnología de la información está provocando ya la aparición de nuevas estructuras con coordinación intensiva. ¿Qué supondrán para las empresas esos cambios en un futuro próximo?

De nuestra investigación emerge un resultado sorprendente: la tecnología de la información instará una evolución global desde las decisiones internas de cada compañía hacia el uso del mercado para coordinar la actividad económica. Para entender el porqué, hay que tener en cuenta que todas las empresas deben escoger entre elaborar ellas mismas los bienes o servicios que necesitan o comprárselos a proveedores externos; en el caso de una firma automovilística, comprar o fabricar ella los neumáticos.

Cada una de estas formas de coordinación —interna y externa— presenta sus ventajas e inconvenientes. Para Oliver Williamson, de la Universidad de California en Berkeley, optar por comprar a un proveedor externo suele requerir mayor coordinación que la exigida en la elaboración interna. Para comprar neumáticos, la firma automovilística debería sopesar las condiciones de un abanico de proveedores, negociar contratos y llevar una contabilidad formal del dinero que cambia de manos. Coordinar una producción interna de neumáticos, por otro lado, puede con frecuencia llevarse a cabo con menos formalidades y un coste menor, con conversaciones telefónicas y reuniones.

Mas el perfeccionamiento de la tecnología de la información reduciría los costes de la coordinación interna y externa, a la manera del abaratamiento de los viajes que se produjo con la innovación en el transporte. Cuando trenes y automóviles aliviaron las penalidades de los viajes, mucha gente dejó la ciudad para vivir en el extrarradio, donde gozaba de mayores espacios. De modo similar, cuando la tecnología de la información reduzca los costes de una determinada cantidad de información, las compañías se inclinarán por comprar más y fabricar menos. La coordinación adicional que requiera la compra no costará tanto, amén de que la compra encierra sus propias ventajas. Siguiendo con el ejemplo de los neumáticos, si la firma automovilística los compra, se ahorrará la producción industrial del proveedor y podrá seleccionar los mejores modelos del mercado —cualquiera que sea su fabricante— siempre que necesite un cambio. Las redes llevarán, pues, a una menor integración vertical (más comprar y menos fabricar) y a la proliferación de la pequeña empresa. Surgirán más consorcios integrados electrónicamente y un empleo cada vez mayor de los mercados electrónicos para escoger proveedores (tal es el caso del sistema de reservas de las líneas aéreas).

De lo que se infiere que la tecnología de la información potenciará el rendimiento de los mercados. Los compradores no perderán tiempo en comparar productos y proveedores: el mercado electrónico se encarga de recoger y distribuir esa información sin grandes dispendios.




**4. EL LECTOR DE CODIGO DE BARRAS se ha convertido en un elemento básico de la comercialización de los productos. Las lecturas proporcionan información acerca de las existencias en distintas fases de la cadena, desde el proveedor hasta el detallista. La rápida transmisión de datos reduce el inventario y permite que las compañías se ajusten con presteza a la demanda.**

Estos mercados más eficientes representan una amenaza para las empresas cuya superioridad estratégica se basa en las imperfecciones del mercado. Clemons recuerda que, cuando la Bolsa Internacional de Londres puso en marcha un sistema de contratación electrónico, los corros quedaron literalmente desiertos en cuestión de semanas. El mercado se desvió hacia las terminales electrónicas dispersas por el mundo entero. El sistema abarató el contacto entre comprador y vendedor. Cayeron en picado también los beneficios de los agentes de cambio y bolsa y de los especialistas del mercado, monopolizadores hasta entonces del ejercicio de esa actividad. Los potenciales descensos de beneficios pueden explicar por qué muchas otras bolsas se muestran aún reticentes a la implantación del mercado electrónico de valores.

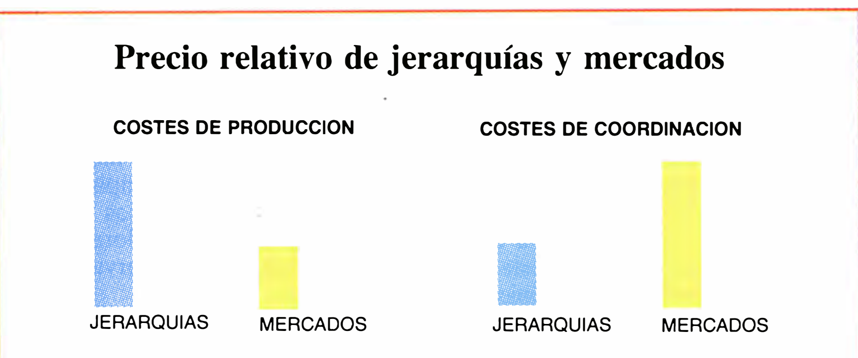
Intermediarios de toda suerte, como distribuidores y detallistas, se están volviendo vulnerables también. Ahora los consumidores pueden, por ejemplo, dejar de entrar en la tienda de la esquina para acudir, con un ahorro sustancial, a la cadena de supermercados. El mercado electrónico facilita, asimismo, la evaluación de la calidad de los bienes. Nos parece que es tan sólo cuestión de esperar a que aparezcan en las redes informáticas comentarios extensos y experiencias de anteriores compradores, lo que acabará por convertirlas en una especie de "Noticias del Consumidor", siempre a mano.

La mejora creciente del mercado supone también para las empresas que éstas deben prestar especial atención al reducido marco de competencias que les permiten obtener ventajas estratégicas. Y deberían comprar los productos y servicios adicionales, de importancia secundaria, en vez de elaborarlos por sí mismas.

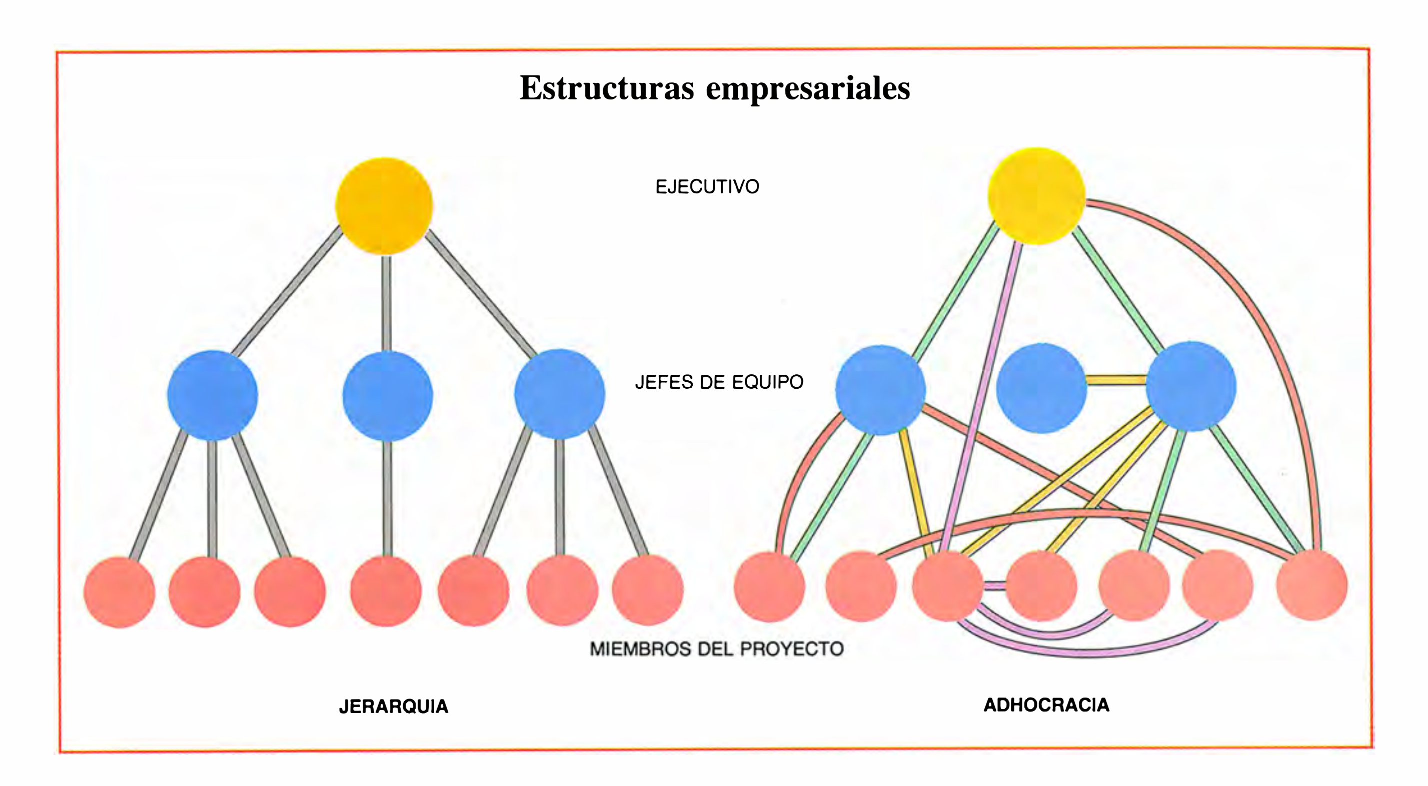
A pesar de la importancia estratégica que pueda revestir la tecnología informática, la mera innovación no suele constituir, por sí sola, una fuente de ventajas de cara a la competitividad. Así, American Hospital Supply (ahora Baxter Healthcare Corporation) se hizo acreedora de grandes alabanzas por su pionero sistema que permitía a sus clientes cursar los pedidos electrónicamente sin necesidad de acudir a un vendedor. Con este sistema, hacerle un pedido de suministros hospitalarios era más fácil que encargárselo a la competencia, y se redujo el tiempo burocrático de tramitación de la solicitud. Pero, en contra de las expectativas, los sistemas de este tipo no sirven, a la larga, para "captar" nuevos clientes, quienes sí se inclinan por los sistemas electrónicos que ofrecen posibilidades de elegir entre suministradores. Algo parecido ocurre con los cajeros automáticos, que hace un tiempo pudieron suponer la delantera competitiva para un banco y hoy se han convertido en una necesidad.

Una manera de estar siempre en vanguardia, en la cresta de la ola, es mantener el ritmo de innovaciones. Otra es, como apunta Clemons, hacer uso de la tecnología informática para sacar algún provecho estructural. Así, Barclay deZoete Wedd, una sociedad de valores británica, sigue ganando con el mercado electrónico porque ya controlaba las transacciones de muchas más acciones que cualquiera de sus competidores.

Aparte de los mercados, hay otra estructura empresarial con intensa coordinación que tiene visos de generalizarse. Es lo que algunos teóricos de la gerencia denominan una organización en red, o, con un término más pintoresco, "adhocracia", designación que popularizó Alvin Toffler en su libro *Future Schok*. Se trata de una práctica habitual en despachos de abogados, consultorías y centros universitarios de investigación. Tales organizaciones e instituciones deben reajustarse continuamente a un mazo flexible de proyectos, cada uno de los cuales requiere su propia combinación de capacidades y recursos; organizaciones que dependen de mu-




La elaboración de productos a través de configuraciones jerárquicas supone un mayor coste de producción que la compra en el mercado. La compra a un proveedor externo brinda a la empresa el ahorro de la producción industrial y otras ventajas. Pero la compra habitualmente significa un mayor coste de coordinación; la empresa debe buscar un proveedor, negociar contratos y llevar la contabilidad de los pagos.




chos equipos de proyecto continuamente sujetos a los cambios y de la comunicación lateral entre grupos autónomos y en competencia.

La adhocracia contrasta con la organización jerárquica de los negocios. Las jerarquías se hallan tan extendidas porque proporcionan un método muy económico de coordinar una fuerza laboral numerosa. En principio, quienes toman las decisiones en una configuración jerárquica pueden considerar toda la información que conozca cualquiera del grupo con mucha menos comunicación que la que requeriría que todos se comunicasen entre sí.

En la práctica, sin embargo, las jerarquías adolecen de serias limitaciones. Los que toman las últimas decisiones pueden verse desbordados y sentirse incapaces de hacer frente con rapidez y eficacia a los cambios de circunstancias, o de ponderar información suficiente acerca de los asuntos complejos. Los subalternos, alejados quizá de la toma de decisiones, pueden encontrar, por esa razón, menos motivos para arrimar el hombro.

Conforme la tecnología informática reduzca los costes de la comunicación, las estructuras no jerárquicas, como los mercados y las adhocracias, pueden ayudar a subsanar los incovenientes de la configuración jerárquica. La adhocracia necesita premiosamente de la coordinación para posibilitar una intensa comunicación lateral imprevista. El correo electrónico, las reuniones por ordenador y los servicios de noticias informatizados, entre los nuevos medios, pueden facilitar la coordinación y permitir así que la adhocracia funcione con eficacia. Las redes de ordenadores facilitan la identificación y convocatoria de individuos de distinta formación y habilidad que se hallan dispersos por la organización.

Además, la propia técnica facilita que la transferencia de información se realice no sólo con mayor rapidez y a un coste menor, sino también de manera más selectiva, con el consiguiente aligeramiento del problema del exceso de información. Disponemos de sistemas para que el usuario busque, elija y mande su correo electrónico, tomando como criterio el remitente, el asunto u otras particularidades. Esas posibilidades de coordinación, tomadas en su conjunto, han de acelerar el "metabolismo de la información" de las organizaciones, esto es, la presteza para incorporar, trasladar, digerir y responder a los datos.

La información abrumadora plantea dos dificultades potenciales contra la solidez de la empresa. Hay miedo de que el directivo se convierta en "el Gran Hermano", que emplee la información para ejercer un fuerte control sobre los subalternos. Otros temen que, de repartirse el poder entre toda la plantilla, los trabajadores aprovechen semejante circunstancia en beneficio de sus estrechos intereses particulares, lo que provocaría un auténtico caos.

Lo cierto es que no se ha cumplido ninguna de estas expectativas pesimistas. Se ha producido más bien una paradójica combinación de centralización y descentralización. Como la información puede distribuirse con más facilidad, las personas de los escalones inferiores en el organigrama pueden estar suficientemente informadas para tomar más decisiones y más eficazmente. Al mismo tiempo, los directivos pueden revisar mejor las decisiones tomadas en las instancias inferiores. Y como los que toman las decisiones abajo saben que están sujetos a que en cualquier momento se supervise su trabajo, los dirigentes conservan e incluso aumentan su control central sobre las decisiones.

Los cambios ocurridos en la compañía Phillips Petroleum nos ilustran el fenómeno. Antes eran los directivos quienes establecían el precio de los productos petrolíferos. Estas cruciales decisiones dependían de lo que recomendaban los analistas, que ocupaban un rango intermedio en la configuración jerárquica. Cuando la empresa implantó un sistema informático ejecutivo, los directivos comenzaron a tomar decisiones a partir de la información global que proporcionaba el sistema. Pero pronto comprendieron que podían trasladar sin más preámbulos esa información a los jefes locales, quienes podían tener en cuenta, además, datos sobre los precios de la competencia. Este procedimiento de descentralización de las decisiones sobre los precios redundó en una estrategia de precios más acertada y provechosa para la empresa.

Nos enseña ese paradójico efecto que las nuevas técnicas no se limitan a redistribuir el poder. Confieren a cada uno la sensación de mayor po-

der. Los agentes de varias compañías de seguros, por ejemplo, llevan ordenadores portátiles cuando van a visitar a los clientes casa por casa. Los agentes usan los ordenadores para rellenar solicitudes y explicar tipos de franquicias y primas. Pero en las oficinas generales los aseguradores suelen tardar varias semanas en revisar las solicitudes y poner en circulación nuevas pólizas. Muy pronto, las normas de seguros para ciertas pólizas rutinarias se incluirán en los ordenadores portátiles. Los agentes podrán entonces emitir esas pólizas inmediatamente, en la misma casa del cliente.

Estos sistemas conferirán entonces más "poder" a los agentes, que controlarán el momento y lugar de la decisión de aceptar la póliza, así como la firma del contrato. La autoridad de la central aseguradora también aumentará, pues las normas que se establezcan se aplicarán de forma coherente. Sin olvidar que los comisionados podrán dedicar más tiempo a analizar casos singulares e interesantes que les reporten mayores ganancias.

La tecnología de la información no sólo cambia el poder; también el tiempo. Por un lado, el tiempo se estira. Con el fax, el correo electrónico o por viva voz, el mensaje puede enviarse o recibirse a cualquier hora del día o de la noche en casi todos los puntos del globo. Asimismo, los cajeros electrónicos y algunos sistemas de mercados de valores permiten realizar transacciones en cualquier momento. El "horario laboral" cada vez significa menos, y las compañías pueden competir dilatando el tiempo de disponibilidad de sus servicios.

Por otro lado, el tiempo se ha contraído. Las compañías pueden también competir en velocidad. Con una eficaz coordinación, se acorta el tiempo necesario para lanzar nuevos productos, servir pedidos o reaccionar ante las preferencias de los clientes. Los equipos directivos que reparten información y responsabilidades en todos los niveles se hallan prestos a reaccionar ante cualquier modificación de las condiciones del mercado. Decisiones que antes tardaban días pueden resolverse ahora en cuestión de horas o de minutos.

La predicción de los cambios que hasta aquí hemos expuesto no requiere especial perspicacia: están sucediendo. ¿Qué pasará conforme la tecnología de la información mejore aún más? ¿Qué nuevo género de organizaciones aparecerán en un mundo globalmente interconectado que la técnica hace viable?

Cabe pensar en la potenciación de "redes de respuesta", esto es, de expertos capaces de resolver cuestiones en ámbitos muy diferentes. Se podría acudir a esos servicios con preguntas de este calibre: "¿Cuántas pastillas de jabón se vendieron en Guatemala el año pasado?", o "¿Cuáles son las perspectivas de la superconductividad a altas temperaturas en productos comerciales para 1995?" Los servicios incluirían copiosas bases de datos y varios niveles de expertos en muchas áreas. Algunas cuestiones podrán responderse con la simple consulta a las bases de datos. Para otras habrá que remitirse a expertos especialistas. Según lo que uno quiera gastarse y la rapidez con que desee la contestación, la respuesta puede variar desde un recorte de periódico hasta el dictamen personal de un premio Nobel. Ya existen hoy servicios de esta guisa, pero más limitados —por ejemplo, los teléfonos para informar de algunos productos o los puestos de consulta de bibliografía en algunas bibliotecas—; sin embargo, las redes de ordenadores y las bases de datos abaratarán el precio de estos servicios y aumentarán su calidad, lo que redundará en su mayor uso.

Los mercados con medios de comunicación electrónicos permitirán organizar ejércitos de "mercenarios intelectuales" literalmente de la noche a la mañana. Así, puede aparecer una notable cantidad de consultores que se ganen la vida con pequeños proyectos a través de la red. Si un directivo tiene un encargo que dar, sea evaluar un crédito o diseñar un cortacéspedes, rápidamente puede organizar un equipo de personas mediante un anuncio electrónico o consultando una base de datos de personas disponibles. La base de datos podría contener no sólo la capacitación y los honorarios que cobrarían los posibles trabajadores, sino también comentarios privados de otros que hayan usado ya sus servicios. Aunque las consultorías y agencias publicitarias funcionan a veces de esa manera, cuando las redes sean más tupidas se podrá reunir equipos humanos sin demora, para proyectos más cortos, que procedan de muchas organizaciones diferentes.

Esta clase de mercado de servicios podría aprovecharse incluso en el seno de una misma organización. En vez de recurrir siempre a supervisores para distribuir el tiempo de los que trabajan para uno, pueden aparecer mercados internos de servicios y personas. Murray Turoff, del Instituto de Tecnología de New Jersey, ha sugerido cómo podría funcionar un sistema tal. Cuando alguien tuviera que hacer un proyecto de programación corto, por poner un caso, podría poner un anuncio interno para buscar un programador. Las facturas y los pagos en este mercado interno podrían efectuarse en moneda real o con algún otro tipo de sistema contable. La minuta de cada programador indicaría su capacitación y disponibilidad. Lo que cobrase reflejaría el va-



**5. LOS CAJEROS AUTOMATICOS, no hace mucho una novedad, se han convertido en pieza imprescindible de la relación cliente-cajas o bancos. Nos demuestran que la mera innovación raramente proporciona la delantera a largo plazo. Para seguir siendo competitivas, las empresas han de mantener un ritmo de innovación o sacarle partido a la tecnología existente.**



**6. PERIFERIA DE LAS GRANDES CIUDADES,** que representan un efecto de tercer orden de la mejora en la técnica del transporte. Con los medios de transporte cómodos y baratos aparecieron estructuras de "transporte intensivo". Pero la existencia de esos cinturones mesocráticos dependió también del valor que se concedía a la propiedad de una casa y a la superioridad moral de la vida rural. De manera similar, las clases de estructuras de coordinación intensiva que aparezcan cuando el acceso a la información sea gratis dependerá de los valores sociales.

lor que al resto de la organización le merece.

La mejora tecnológica facilita la creación de estructuras de toma de decisiones que integren las aportaciones cualitativas de muchas personas. Pensemos en una cuestión delicada, donde resulte necesario reunir muchos datos y opiniones: la ubicación de una industria, por ejemplo. Hoy día las empresas suelen tomar decisiones de ese tenor basándose en estudios incompletos, en los que sólo participan unos cuantos, considerados expertos. En el futuro, las empresas acudirán a las redes para organizar y archivar asuntos, alternativas, argumentaciones en pro y en contra, en forma gráfica. Mucha gente podrá, así, revisar y criticar los aspectos que más les importen o mejor conozcan.

Imaginemos que alguien, en un lugar perdido de la organización, conozca el proyecto de una autopista que cambie totalmente el lugar más idóneo para la ubicación de una fábrica. Conforme se va acumulando información, la gente juzgará la validez o acierto de las propuestas. Con toda la información recogida por el sistema, una persona puede tomar luego la decisión final.

¿Qué ocurrirá cuando el mundo sea la aldea global conectada a una red, donde se pueda obtener gratis o a bajo precio una gran cantidad de información? Ese mundo precisará ante todo que alguien o algo le filtre el inmenso caudal de información disponible. Quienes estén preparados para analizar o resumir la información, en lo que tenga de tarea no automatizable, merecerán la más alta consideración.

Pero lo que haga la gente dependerá de los valores que crea importantes. Cuando los trenes y los automóviles acabaron con las penalidades y limitaciones del viajar, otros valores cobraron mayor significado en el marco de las pautas de trabajo y del modo de vida. Kenneth T. Jackson, de la Universidad de Columbia, ha puesto de relieve que el valor otorgado por los norteamericanos a la posesión de la vivienda propia y la superioridad moral concedida a la vida rural determinaron, en buena medida, la naturaleza de los aledaños urbanos en Estados Unidos.

De manera similar, cuando el precio de la coordinación y de la información ya no suponga un problema para satisfacer las necesidades y deseos de la gente, podrán aparecer otros valores que configuren el mercado laboral y la sociedad. Las nuevas tecnologías de la información ayudarán a satisfacer algunos deseos legítimos, como el pecuniario. Pero habrá también estructuras empresariales que colmen otros afanes, como la creatividad y la autonomía.

Pero quizás esos deseos sean, en sí mismos, manifestaciones de necesidades más profundas. Los psicólogos hablan a veces del autocumplimiento. Otros pueden llamarlo un deseo de realización espiritual. Para usar sabiamente de las nuevas tecnologías, tenemos que meditar con detenimiento cuál es nuestro sistema de valores y de qué modo la técnica puede auxiliarnos en la consecución de metas más íntimas.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA


BEYOND VERTICAL INTEGRATION: THE RISE OF THE VALUE-ADDING PARTNERSHIP. Russell Johnston y Paul R. Lawrence en *Harvard Business Review*, vol. 66, n.º 4, págs. 94-104; julio-agosto de 1988.

EVALUATION OF STRATEGIC INVESTMENTS IN INFORMATION TECHNOLOGY. Eric K. Clemons en *Communications of the ACM*, vol. 34, n.º 1, págs. 22-36, enero de 1991.

GLOBAL COMPETITION AND TELECOMMUNICATIONS: PROCEEDINGS OF A SYMPOSIUM HELD AT HARVARD BUSINESS SCHOOL, MAY 2-3, 1991. Dirigido por Stephen Bradley, Richard Noland y Jerry Hausman (en prensa).

# Ordenadores, redes y enseñanza

*Una red global de ordenadores de fácil manejo ayuda a aprender, siempre que en el entorno educativo se estimule el espíritu crítico y la necesidad de vencer las dificultades*

Alan C. Kay

El físico Murray Gell-Mann acostumbra decir que la enseñanza en el siglo xx viene a ser como llevarle a uno al mejor restaurante del mundo para obligarle, luego, a comer el menú. Dicho en directo: las representaciones de las ideas han sustituido a las ideas. A los alumnos se les enseñan, de manera superficial, los descubrimientos, cuando el camino acertado sería ayudarles a ahondar en las cosas por sí mismos.

A corto plazo, todas las representaciones que los humanos han ideado se hallarán al alcance de cualquiera, en cualquier parte del mundo, gracias a ordenadores portátiles del tamaño de un bloc de notas. Pero, ¿estaremos preparados para pasar del menú a la carta o ni siquiera sabremos apreciar la diferencia entre ambos? Todavía peor: ¿habremos perdido la propia capacidad de leer el menú y darnos por satisfechos con saber que existe?

Siempre ha habido confusión entre continente y contenido. Los pianistas saben que la música no está en el piano, sino que brota, en su origen, de una especial necesidad de comunicar sentimientos. Pero a muchos niños se les obliga a "estudiar piano" antes de que manifiesten interés por la música, y así terminan por aborrecerla de por vida. El piano, en el mejor de los casos, puede ser sólo una extensión resonante de una inclinación o de unos sentimientos, capaz de producir notas en armonía y polifonía que la mera voz no conseguiría nunca.

ALAN C. KAY trabaja en Apple Computer Inc. desde 1984, tras haber fundado el Centro de Investigación de Palo Alto y haberse responsabilizado del equipo técnico de Atari. Pionero en el campo de los ordenadores personales, suyo es el sistema de comunicación con el usuario a través de ventanas superpuestas y, también, la invención de Smalltalk, primer lenguaje orientado hacia el objeto.

El ordenador es el mejor "piano" jamás inventado, en cuanto portador maestro de representaciones de todas clases. Se palpa cierta prisa en que las personas, los niños sobre todo, "estudien ordenador". Los ordenadores logran intensificar anhelos con una profundidad desconocida por los instrumentos musicales; pero si los maestros no fomentan el encanto de aprender y expresar, la obligación impuesta de "saber" otra cosa nueva podría enojar tanto como forzarle a uno a interpretar sonatas de Beethoven sin el menor gusto por su belleza. El acceso instantáneo a la información mundial producirá probablemente un efecto contrario al que se desea: el aburrimiento exasperante de los alumnos.

A la idea según la cual bastaría la presencia de los ordenadores para mejorar el proceso de aprendizaje, habrá que sumar otros juicios erróneos que dificultan en nuestros días la enseñanza. Conviene deshacerse de esos prejuicios si queremos sacarle partido a cualquier ayuda, sea un ordenador o una cuartilla y un lápiz. Podríamos comenzar citando la teoría fluídica de la enseñanza: los estudiantes son vasijas vacías a las que se debe suministrar el conocimiento gota a gota desde la vasija llena que es el maestro. Otra doctrina afín asocia la enseñanza a una píldora amarga, que hemos de edulcorar para tragarla. (Tal postura pasa por alto el profundo gozo de aprender.)

Afirma otro enfoque equivocado que los humanos, animales a la postre, sólo pueden desenvolverse con los ladrillos mentales de la naturaleza, o maneras innatas de pensar, a la hora de conformar nuestra mente. No menos preocupante es la ingenuidad de quienes defienden que la realidad es sólo lo que los sentidos revelan. Finalmente, quizá lo más erróneo de todo sea atribuir unicidad a la mente, concederle una "yo"-idad inconsútil.

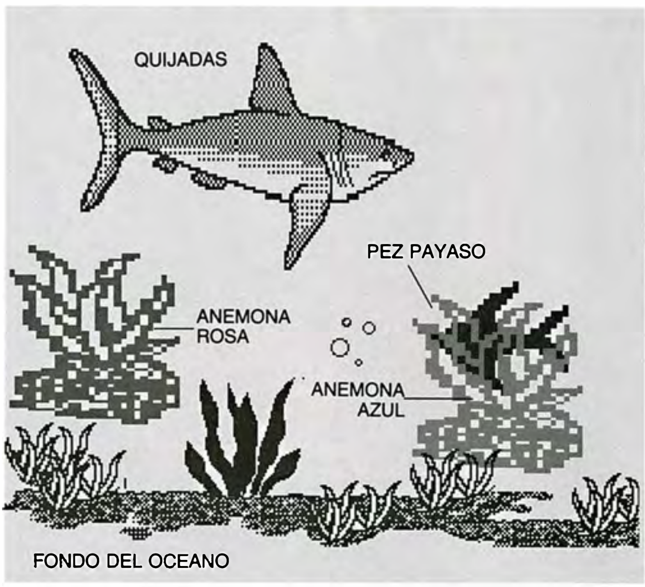
Pero no hay nada tan plural como la mente, tejida de retazos de diferentes mentalidades. Jerome S. Bruner, de la Universidad de Nueva York, sugiere que tenemos varias formas de saber y pensar acerca del mundo; entre ellas, la de construir, ver y manipular símbolos. Es más, cada uno de nosotros ha de levantar su propia versión de la realidad a la fuerza, para hacernos, literalmente, a

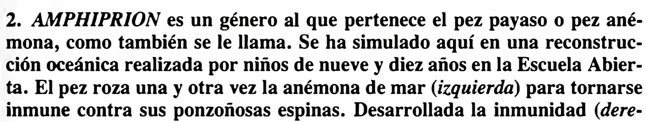


**1. ALUMNOS de la Escuela Abierta: Centro de Individualización, de Los Angeles, creando una simulación dinámica de la vida en el océano (*derecha*) y estudiando matemáticas (*arriba*) con ayuda de ordenadores, instalados en los pupitres de forma tal que no estorben. En la Escuela Abierta, con buenos métodos pedagógicos antes de comprar los ordenadores, las máquinas no sustituyen a los maestros. Se las considera un "material más", igual que los libros, cuadros y tiza, de los que se valen los niños en sus tareas. Cuando aparezcan, próximamente, ordenadores del tamaño de un bloc, los niños podrán llevar los suyos dondequiera que vayan.**


PLAYGROUND
in
The Kelp Forest



**2. *AMPHIPRION* es un género al que pertenece el pez payaso o pez anémona, como también se le llama. Se ha simulado aquí en una reconstrucción oceánica realizada por niños de nueve y diez años en la Escuela Abierta. El pez roza una y otra vez la anémona de mar (*izquierda*) para tornarse inmune contra sus ponzoñosas espinas. Desarrollada la inmunidad (*derecha*), el pez busca refugio entre los tentáculos de la anémona cuando le acosa un depredador. A través de las simulaciones, los niños van conociendo mejor la vida de la especie y los beneficios que reporta la simbiosis, con mayor hondura y propiedad que si se limitaran a leer un libro u observar un acuario. También ocurre así con los adultos.**

nosotros mismos. Y somos perfectamente capaces de idear nuevos ladrillos mentales, nuevas maneras de pensar que amplíen el cupo de nuestros saberes. Los ladrillos que desarrollamos se convierten en nuevas técnicas del pensar.

Las estructuras más sólidas que vamos levantando con nuestros nuevos ladrillos podrían exigirnos un esfuerzo notable. La música, las matemáticas, las ciencias y los derechos humanos son botones de muestra de los sistemas de pensamiento que deben construirse capa a capa y cementarse. Ahora bien, la dificultad que entraña comprender o amasar esas construcciones no debe dispensarnos del esfuerzo de conseguirlo. La dificultad ha de ser un estímulo para domeñar un área de interés. El sistema educativo que se empeñe en hacerlo todo fácil y agradable impedirá que se aprendan muchas cosas importantes.

Conviene caer en la cuenta de que muchos sistemas de pensamiento, sobre todo de corte científico, están en abierta contradicción con el sentido común. La mayor parte de la ciencia es un contrasentido, etimológicamente hablando. Esta verdad se asentó con solidez en cuanto el hombre comenzó a manejar microscopios y telescopios, instrumentos que sacaron a la luz un universo formado en buena parte por elementos que se nos escapan a simple vista.

En resumen, los seres humanos están predispuestos por la biología a vivir en la barbarie de un pasado ancestral. Sólo con tesón y uso de nuestras representaciones inventadas podemos transportarnos hasta el presente y otear el futuro. La pedagogía debe hallar la vía para fomentar que los niños no renuncien a ese desafío.

En los últimos decenios, la tarea ante los niños —ante nosotros— se ha hecho más difícil. El cambio se ha acelerado con tal rapidez que lo que una generación aprende en la infancia no sirve ya, veinte años después, en su edad adulta. En otras palabras, cada generación debe estar presta a aprender nuevos paradigmas, o maneras de interpretar el mundo; los modos antiguos pierden validez con los años. Thomas S. Kuhn, autor de *La estructura de las revoluciones científicas*, estima un intervalo de un cuarto de siglo para la emergencia de un nuevo paradigma. (El necesario para que desaparezcan los defensores del viejo.)

La enseñanza del futuro estará relacionada en buena medida con la cuestión de la complejidad. Por un lado, los humanos se esfuerzan por simplificar lo complicado: fruto de ese empeño son las categorías en el lenguaje y las teorías universales en la ciencia. Por otro, no se ha de olvidar que muchas situaciones de apariencia sencilla encierran real complejidad. Además, importa estar capacitados para abordar cada situación en su contexto más amplio; quemar zonas de pluviselva puede ser la manera directa de obtener tierra arable, pero las consecuencias ambientales nos aseguran que no es la mejor solución.

Hasta ahora, los contextos que delimitan y dan significado a nuestros conocimientos han sido todo menos obscuros. Sacarlos a la luz, discutir su naturaleza y reformarlos o crearlos son poderosas aspiraciones que sintonizan con las apremiantes necesidades y acelerados cambios de nuestro tiempo. Toda aula o foro de estudio que merezca tal nombre debe tener su punto de conflictividad y perturbación, que busque los contrastes más que los absolutos, prime la calidad sobre la cantidad y acepte sin medias tintas la exigencia de tenacidad y esfuerzo. No creo que sea excesivo decir que estos requisitos están reñidos con los valores dominantes en la juventud occidental.

Si la música no está en el "piano", ¿cómo deberían utilizarse los medios de comunicación en clase y en otros lugares? Parte de la respuesta reside en conocer las deficiencias de los medios existentes.

Lo que cuenta en nuestros libros, televisiones y ordenadores no es lo que está delante de nosotros, sino lo que entra en nuestras cabezas y por qué queremos aprenderlo. Ahora bien, como anotó el filósofo de la comunicación Marshall H.McLuhan, buena parte de lo que entra en nuestra cabeza es la forma: "Nos convertimos en lo que contemplamos." La forma del portador de información no carece de interés; al mismo tiempo, dicta la

clase de información aportada e influye en los procesos de pensamiento.

Esta característica vale para todos los medios de comunicación, no sólo para los modernos de alta tecnología. Sócrates se quejaba de la expresión escrita, que le obligaba a seguir el razonamiento sin dejarle intervenir; le molestaba lo mismo su alienación que su persistencia. Le desazonaba que el manuscrito viajase sin su autor, con quien porfiar. Peor todavía, el autor podía morir, sin posibilidad de que modificara, a tenor de otros puntos de vista, su pensamiento.

Los usuarios de los medios deberían saber que la técnica obliga con frecuencia a elegir entre calidad y conveniencia. Compárense los cuadros famosos o los manuscritos medievales iluminados con las fotografías tomadas cuidadosamente de ellos. Las emociones que despiertan no son las mismas. En quienes no pueden hacer directamente tales comparaciones, suele darse la tendencia a aceptar la sustitución como si nada se hubiera perdido. En consonancia con ello, ha habido muy pocas quejas sobre la sustitución de fotografías de alta resolución de grandes obras de arte (que en sí ya no captan la obra real) por imágenes de videodisco de baja resolución (que distorsionan todavía más la luz y el espacio). De lo que se desprende que el primer objetivo en la vida y en la escuela se centra ahora en la identificación, no en el disfrute estético. La identificación se ha convertido en la meta preeminente a alcanzar por el alumnado.

Cuando la conveniencia se valora por encima de la calidad, vamos de cabeza hacia una enseñanza sin fuste. Ni más ni menos que lo que ocurre con las burdas imitaciones tomadas por objetos reales. El saber superficial conduce a una vida superficial. Como dice Neil M. Postman, de la Universidad de Nueva York, no es grave que un medio de difusión transmita bazofia, pues siempre se hallan expuestos a ello; lo que hay que garantizar es que los medios incapaces de transmitir cuestiones intelectuales serias —por ejemplo, la televisión— no desplacen a los que sí pueden hacerlo.

Los medios de comunicación pueden engañarnos al inducirnos a creer que estamos conociendo la realidad cuando sólo estamos echándole un vistazo. Consideremos la posibilidad de transformar la arcilla —substancia perfectamente maleable y fácil de trabajar— en algo que produzca placer estético. La maleabilidad no sustituye a la falta de una imagen interna, ni a





**3. CAMINO para pasear por el jardín (*arriba*) que hay en el exterior de la Escuela Abierta. Lo proyectaron los propios chicos de clases superiores, quienes eligieron una configuración de espiga para garantizar un fácil acceso a todos los parterres. Los niños se decidieron por esa forma tras crear y debatir muchos modelos, frecuentemente con ayuda de sus ordenadores. El jardín es parte de un proyecto de Laboratorio Viviente, en el que los niños planean, plantan, cuidan y disfrutan de los frutos de su propio jardín (*abajo*) para mejor entender la interacción de los organismos y su entorno.**

la habilidad para crear formas. Ese peligro se corre con los ordenadores, que permiten chapuzas sin cuento cuando el usuario trata de moldear la arcilla sin criterio, a lo que salga.

Lo advirtió también McLuhan: la comunicación instantánea que ofrecen los medios lleva a la fragmentación. La continuidad y la exposición se sustituyen por datos sueltos, sacados de contexto y resaltados por ser "lo último". Hace doscientos años, los artículos de fondo escritos por los federalistas James Madison, Alexander Hamilton y John Jay en pro de la ratificación de la Constitución de los EE.UU. se publicaron en los periódicos de las trece colonias. Cincuenta años más tarde, el telégrafo y su red alteraron el sentido de las noticias sustituyendo la profundidad por la actualidad; los periódicos se sumaron a esa tendencia. Un siglo después, la televisión empezó a cambiar el acento de las noticias desde la actualidad hacia la inmediatez visual.

Los ordenadores tienen las mismas deficiencias que los otros medios y pese a ello ofrecen oportunidades para contrarrestar sus carencias inherentes. ¿Dónde publicarían hoy los autores de la Constitución sus artículos federalistas? En un libro, no; escasea el número de lectores de libros. Tampoco en los periódicos; se trata de ensayos bastante largos. Menos, en televisión, incapaz de abordar cuestiones reflexivas. ¿Mediante redes de ordenadores? Bien, las pantallas de ordenador, aunque se refinan con los días, no facilitan la lectura detenida y prolongada; tienden, por contra, a mostrar figuras, diagramas y consignas.

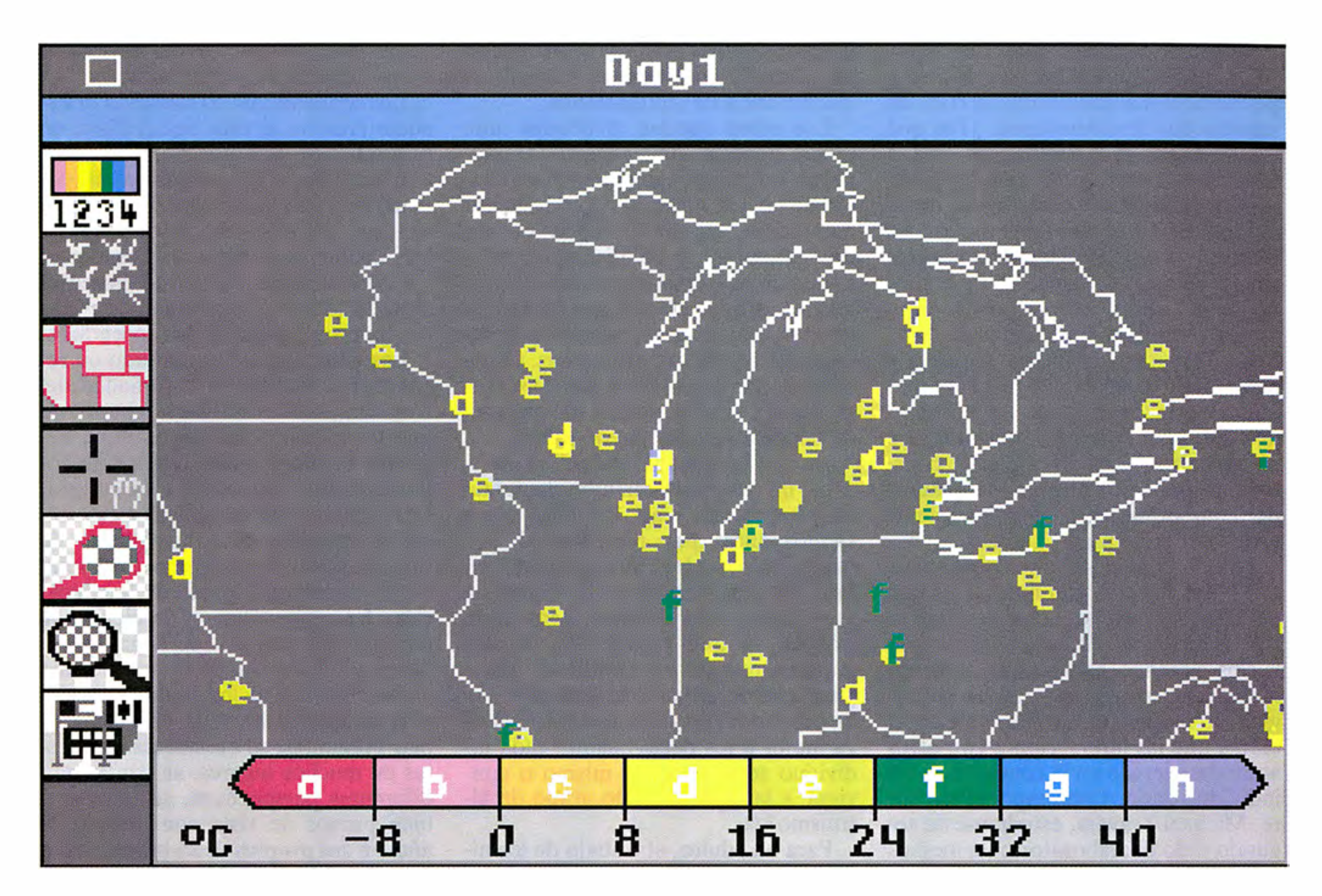
Pero las postrimerías del siglo XX proporcionan una interesante respuesta a la pregunta sobre transmisión, vía redes, de una simulación de la estructura propuesta de la nueva Carta Magna de los EE.UU. Los usuarios, amén de examinar el modelo, podrían enmendar algunas hipótesis e incluso rehacer el modelo para poner a prueba las ideas. El modelo podría hallarse hiperconectado con las fuentes del proyecto (una de ellas, la constitución de Virginia), de suerte que los "lectores" pudieran cotejar las nuevas corrientes con las viejas ideas. (La hiperconexión amplía cualquier documento para incluir información relacionada con él de muchas fuentes diversas.) Los usuarios contarían ahora con algo más vigoroso que los artículos amarillentos. Cualquier apostilla a las propuestas —a través de la red— llegaría a tiempo y merecería consideración.

**4. MODELO DE CIUDAD construido por los niños de la Escuela Abierta, tras varios meses de debate sobre proyectos. Aunque erigieron los edificios a mano, acudieron a los ordenadores para la resolución de ciertas tareas. Las máquinas les ayudaron, por ejemplo, a simular la formación de bruma urbana en su ciudad.**

Hace cinco años, decididos a estudiar las ventajas e inconvenientes de los ordenadores en el aprendizaje, mi colega Ann Marion y yo, en colaboración con la Escuela Abierta: Centro de Individualización de Los Angeles, establecimos un proyecto de investigación. No se trataba de dar lecciones a los excelentes métodos del centro. Con la introducción de la técnica, nos proponíamos en el Apple Vivarium Program, así se llamó el proyecto, conocer la fuerza real de los ordenadores como medios de apoyo.

Los niños se distribuyen en grupos, como en el caso de otras escuelas experimentales en Los Angeles; se constituyen al azar, y así el equilibrio racial se ajusta a la diversidad de la ciudadanía. Los padres han de mostrarse conformes e interesados en los métodos seguidos para poder inscribir a sus hijos. Además, participan. Interés y participación, en efecto, son factores clave, los decisivos quizá para convertir la iniciativa en un éxito. Podríamos afirmar que los métodos pedagógicos distan muchísimo de alcanzar la trascendencia que posee el sistema de valores que, en lo concerniente a la educación, priva en casa. La asunción de ese sistema garantiza el éxito, aunque alguno pueda ser más agradable y enriquecedor que otro.

En particular, queríamos averiguar cómo ayudar a los niños para que entendieran que los animales, las personas y las situaciones son partes de sistemas mayores que influyen uno sobre el otro. Centramos, pues, el grueso del trabajo en la biología y la ecología. Los estudios sobre la estructura y funcionamiento de las




**5. TRANSCRIPCION DE LAS TEMPERATURAS en la región de los Grandes Lagos. La tarea forma parte de la creación de un mapa internacional levantado con datos recogidos por los alumnos de centenares de escuelas. Los niños tomaron lecturas a la misma hora del día y las recopilaron mediante una red. La construcción de tales mapas forma parte de la unidad *El tiempo en acción*, del programa Red Infantil de la Sociedad Geográfica Nacional de los EE.UU. Sirve de ejemplo para ilustrar que las redes fomentan la colaboración científica, trátese de niños o de adultos.**

grandes ciudades despiertan también la conciencia de esa complejidad. Doreen Nelson, del Instituto Politécnico de California, viene enseñando estructura de las ciudades a los niños desde hace años; y en su obra nos basamos al introducir un proyecto de construcción, en gran escala, de una ciudad. Colaboramos en la planificación escolar de un teatro, para que los niños vieran desde dentro el funcionamiento del arte y los sistemas.

¿Qué significa aprender biología porque nos afecta a nosotros y a nuestro mundo? Los seres están constituidos por muchos sistemas, que van desde el molecular hasta el planetario, y de los que forman parte. Una manera poco convincente de abordar el drama —en el que somos, a un tiempo, parte del escenario, actores en papeles cortos, amantes despechados, héroes y villanos— sería acudir a los libros, ordenadores u otros medios de representación; a los videodiscos, si hubiera, que nos animaran el crecimiento vegetal y animal; etcétera. Mas, ¿por qué sustituir por una crítica musical el goce de la interpretación directa? ¿Por qué enseñar "ciencias y matemáticas" cuando los niños pueden, más a gusto y con mejor resultado, crear mundos enteros?

Lo grandioso en biología y otros logros de la humanidad investigadora no se puede "entregar"; pero sí aprender, facilitándole a los alumnos el contacto directo con "la gran cadena de los seres", para que ellos vayan conformando en su interior la estructura necesaria que requiere la generación de ideas valiosas. Luego, nos serviremos de los medios de todo tipo para ampliar la experiencia del aprendizaje.

La Escuela Abierta mira al núcleo de las cosas. Siendo las "cosas que crecen" parte esencial del programa Laboratorio Viviente, los niños hicieron un jardín, destrozando parte del suelo del patio de recreo hasta encontrar buena tierra de cultivo. Los mayorcitos, inmersos por entonces en el proyecto de construcción de la ciudad, pasaron meses debatiendo sobre modelos posibles para el jardín. Llegaron finalmente a una configuración adecuada para los niños, con un camino en espiga que permitía el acceso a cada parterre.

No nos sorprendió que descubrieran, en los ordenadores, la capacidad de simulación de los distintos viales y las ventajas de cada uno. Las maestras Dolores Patton y Leslie Barclay les ayudaron en el proceso, pero no lo dirigieron.

Hay muchos Laboratorios Vivientes en las escuelas californianas, con resultados y experiencias similares a comentar. Para ello, las redes les sirven de mucho más que de medios para recuperar datos fijos; permiten que los alumnos desarrollen sus propios conocimientos en colaboración: piénsese, por ejemplo, en la construcción conjunta de mapas del tiempo propios con registros simultáneos de temperatura, presión atmosférica y demás, así como en los comentarios, a través de la red, del significado de los mapas.

La animación por ordenador facilita la crítica razonada de las configuraciones. Los chicos perciben en seguida las variaciones de presión de Oeste a Este. ¿Podría eso tener algo que ver con la rotación de la Tierra? Las direcciones de los vientos son más complicadas, ya que están más afectadas por la orografía. ¿Se ajustan a las variaciones de presión?

Se puede ahondar más. Los niños son capaces de profundizar mucho y ponderar la calidad cuando se trata de asuntos que les conciernen. ¿Por qué los animales se comprtan de esta o aquella manera? ¿Por qué es tal la conducta humana? Estas son cuestiones vitales. La observación atenta, las teorías y la representación de papeles sirven de ayuda. También, la lectura de textos sobre el comportamiento animal. El maestro puede acudir a Niko Tinbergen en busca de ideas y explicarles que el comportamiento animal está organizado en módulos de pautas innatas. Pero hasta ahí, son sólo palabras. Los niños han de construir un modelo dinámico de pautas de comportamiento que someta a prueba la etología de Tinbergen.

Pero, ¿pueden los niños de nueve y diez años hacerse con una idea cabal de un pez u otro organismo complejo? La maestra B. J. Allen-Conn pasó varios veranos estudiando ecosistemas oceánicos. Se esforzó en conseguir la mejor forma de explicar el efecto que las interacciones con otros animales ejercen en la conducta de un individuo dado. Contemporáneamente, Michael Travers, estudiante de segundo ciclo del laboratorio de medios del MIT, que estaba trabajando con nosotros, construyó varias simulaciones animales, entre ellas el comportamiento de los peces descrito por Tinbergen. Scott Wallace y otros, también de nuestro grupo, plasmaron luego esas ideas en *Playground* (Patio de recreo), un juguete infantil de construcción de simulaciones.

Los niños quedan arrobados ante cierta especie del género *Amphiprion*, que despliega el repertorio habitual de los peces (en punto a alimentación, cópula y huida de los depredadores) y se distingue, además, por su forma fascinante de protegerse. El pez escoge una anémona de mar y se va acostumbrando al veneno de ésta durante varios días. Cuando la adaptación es total, puede sentirse seguro ante cualquier movimiento de depredación que pueda sufrir.

No encierra mayor dificultad construir un comportamiento elemental en *Playground*. Y así, los niños crean simulaciones que remedan al pez hambriento, en busca de alimento, en fase de adaptación a la anémona y en huida ante el acoso. Más tarde explorarán qué ocurre cuando los guiones entran en conflicto. ¿Qué pasa cuando el hambre aprieta y hay un predador cerca del alimento? ¿Les va mejor a los peces cuando cada individuo se vale por sí mismo o conviene a la especie cierto grado de altruismo?

Para un adulto, el trabajo de los niños correspondería a una programación de inteligencia artificial que usa un lenguaje de sistemas expertos basados en normas. Para nosotros, los maestros y los niños, las simulaciones dinámicas constituyen una manera de comprobar si las teorías etológicas son aplicables al mundo real.

Los ordenadores no salvarían la Escuela Abierta si ésta desarrollara un programa de estudios flojo. Se pueden aprender cosas magníficas sin ordenador e incluso sin papel. Pero una vez que los maestros y los niños se han emancipado como exploradores, los ordenadores sirven de potentes amplificadores, expandiendo el alcance y la profundidad de los aprendices.

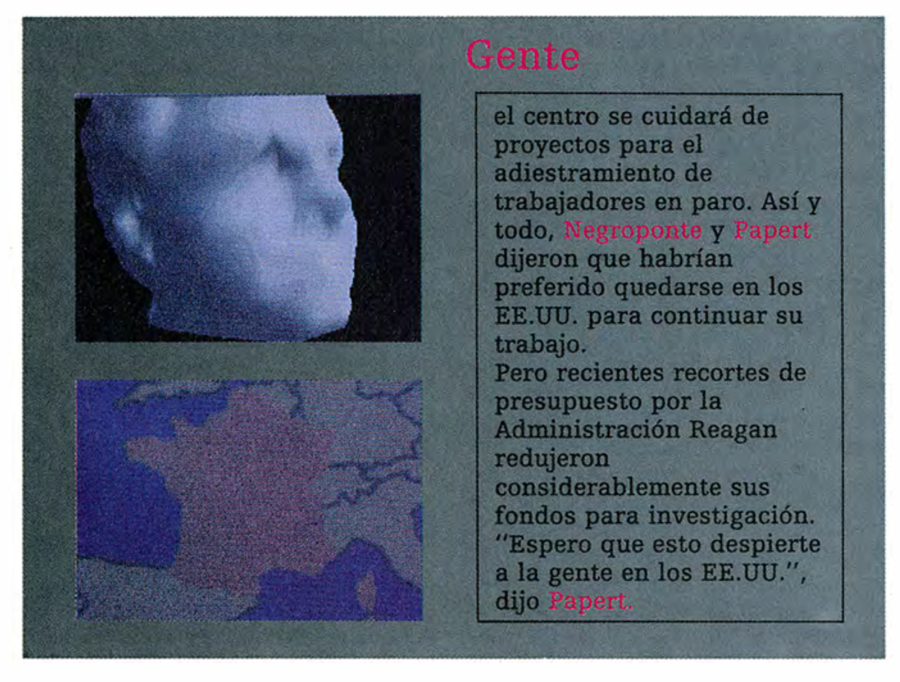
Los educadores han tardado en reconocer la noción de "propiedad del conocimiento" y en darse cuenta de que los niños, como los adultos, necesitan la plena emancipación en los fundamentos del saber y la cultura. Las escuelas suelen obligar a los chicos a aprender el conocimiento de otra persona. Pero, como dijo John Holt, maestro y filósofo de la educación, las matemáticas y la ciencia se aprenderían mejor si se ilegalizaran. No hay diferencia en el aprendizaje de la infancia y de los adultos: se sabe más cuando se formula uno sus propias preguntas, se buscan las respuestas en muchos lugares, se consideran diferentes perspectivas, se intercambian puntos de vista con otros y se añaden sus propios descubrimientos a los conocimientos existentes.

De aquí a diez años, habrá ordenadores potentes y a nuestra medida, engarzados a redes interconectadas cuyo tendido ceñirá el globo con mayor densidad que las líneas telefónicas actuales. La Escuela Abierta puede sacarle partido a esa técnica.

La primera ventaja reside en la interactividad que facilita. Los ordenadores seguirán siendo, en un comienzo, reactivos. Pero no tardarán en tomar iniciativas, a modo de asistentes personales. Los ordenadores se pueden ajustar a cualquier sentido. Por ejemplo, pueden usar la pantalla para la vista; punteros y teclados para responder al gesto; altavoces, teclados del tipo piano y micrófonos para el sonido; incluso cámaras de televisión para reconocer y responder a las expresiones faciales del usuario.

Podremos ponernos gafas mágicas (pantallas) y calzarnos guantes de realimentación, que, juntos, crean una realidad virtual, introduciendo al usuario en las entrañas del ordenador para ver y tocar este nuevo mundo. Sentiremos la superficie de una enzima mientras cataliza una reacción entre dos aminoácidos; experimentaremos las distorsiones relativistas convertidos en electrones que avanzan a una velocidad próxima a la de la luz.

Fuente de valor la constituirá, asimismo, la capacidad de los ordena-


Gente

el centro se cuidará de proyectos para el adiestramiento de trabajadores en paro. Así y todo, Negroponte y Papert dijeron que habrían preferido quedarse en los EE.UU. para continuar su trabajo.
Pero recientes recortes de presupuesto por la Administración Reagan redujeron considerablemente sus fondos para investigación. "Espero que esto despierte a la gente en los EE.UU.", dijo Papert.

**6. RECORTE DE UN PERIODICO hecho a la medida de los intereses de un individuo; el texto fue producido hace varios años por el programa llamado NewsPeek, que el autor y Walter Bender elaboraron cuando estaban en el Instituto de Tecnología de Massachusetts. El programa constituye uno de los primeros prototipos de una clase de "agente", sistema que puede aprender los intereses de un usuario y obtener la información apropiada en nombre de la persona. Tales agentes serán algún día esenciales para navegar entre la masa de información que estará disponible mediante las redes.**




**7. LOS NIÑOS muestran su entusiasmo en su interacción con el ordenador, en la Escuela Abierta. Debidamente usados, los ordenadores alargan las posibilidades de aprendizaje al tiempo que permiten ahondar en los temas.**

dores para transformarse en cualquiera de los medios existentes, incluidos libros e instrumentos musicales. Gracias a esa peculiaridad, las personas podrán elegir la clase de medios a través de los cuales desean recibir y comunicar sus ideas. Textos, imágenes, sonidos y películas, inabordables hasta ahora por los medios de comunicación usuales, se pueden manipular ya con procesadores de textos, sistemas de publicación de sobremesa y sistemas de gráficos y polivalentes.

La tercera ventaja es muy importante: podemos presentar la información desde diferentes perspectivas. Marvin L. Minsky, del MIT, repite que nadie entiende nada si no lo entiende de varias maneras. Los ordenadores se pueden programar de suerte tal que los "hechos" recuperados en una ventana de la pantalla provoquen la aparición inmediata, en halos envolventes, de argumentos a favor y en contra. Puede presentarse una idea en prosa, como imagen, vista por delante y por detrás, por dentro o por fuera. Se pueden concentrar en un mismo sitio conceptos importantes que procedan de fuentes diversas.

En cuarto lugar, el corazón de la ciencia de la computación es la construcción de un modelo dinámico de una idea mediante la simulación. Los ordenadores van más allá de las representaciones estáticas, que en el mejor de los casos aportan una razón; ellos generan simulaciones animadas que representan y ponen a prueba teorías en conflicto. La capacidad de "ver" a través de esas poderosas representaciones supondrá el mismo salto que se dio cuando se pasó de las imágenes y el sentido común a la matemática y la ciencia.

El quinto beneficio vendrá de la manipulación de los ordenadores para hacerlos interactivos con el usuario. La capacidad que poseen de idear modelos habrá de posibilitarles remedar la función de la mente y permitir a los proyectistas crear "agentes" flexibles. Estos agentes tomarán a su cargo la intención de sus propietarios, discutirán las estrategias (preguntando y respondiendo a los usuarios) y, mediante razonamiento, establecerán sus propias metas.

Por último, los ordenadores omnipresentes e interconectados se convertirán en una biblioteca universal, el sueño sempiterno de quienes aman el conocimiento. Los recursos ahora fuera del alcance de los particulares (superordenadores para simulaciones de alto nivel, satélites y grandes compilaciones de datos) serán accesibles a quien lo desee.

Para los niños, los efectos emancipadores de estos beneficios habrán de resultar excitantes. El educador John Dewey señaló ya que los niños de las ciudades del siglo XX participarían sólo en la forma, no en el contenido, de la mayoría de las actividades de los adultos; compárese el conocimiento adquirido por una niña que juega a enfermera con su muñeca con el adquirido por una niña que cuida a un ternero vivo en una granja. Los ordenadores facilitan en cierto modo la participación infantil en el contenido. La manera en que niños y adolescentes usan el ordenador no difiere del empleo que de los mismos hacen los profesionales. Interactúan, simulan, contrastan y critican y crean nuevos conocimientos que comparten con los demás.

Cuando los ordenadores privados formen parte rutinaria de la interconexión mundial, la relación de los humanos con sus portadores de información volverá a cambiar sustancialmente. Con el aumento espectacular de información, mucha de ella contradictoria, la capacidad crítica para enjuiciar su valor y validez será determinante. Ese servicio reviste el mayor interés desde la generalización del acceso a los libros y habida cuenta de la dificultad que entraña comparar distintos puntos de vista y fuentes. Cotejo que ahora se nos facilita si aprovechamos las ventajas de los valores positivos que los ordenadores ofrecen.

Los ingenieros de ordenadores podrían colaborar. Los medios de difusión constituidos por ordenadores interconectados sustituirán en un comienzo la verosimilitud por la conveniencia; la exposición y madura consideración, por la cantidad y la velocidad. Ahora bien, los sistemas bien proyectados pueden retener y enriquecer las ideas válidas del pasado, poniendo a disposición del usuario revolucionarias maneras de pensar sobre el mundo. Así, podemos combatir la aceptación pasiva de la información que aparece en pantalla con máquinas que ofrezcan automáticamente la información solicitada y los ejemplos en que tal "hecho" resulta puro engaño.

Una biblioteca en línea que recupere sólo lo que se le pida aporta un enfoque unidireccional y pierde de vista el objeto de las bibliotecas; errando entre las estanterías, siempre se encuentran joyas inesperadas. El soporte lógico podría fácilmente proporcionar maneras de hojear y otros vagabundeos.

Los hechos suelen andar hoy separados de su contexto original. Tal fragmentación se puede compensar con programas que agrupen las ideas recuperadas en series y porten así de un pensamiento al siguiente. Y podremos combatir la tosca tentación de "aporrear la arcilla" (crear cosas o recoger información al azar) mediante herramientas organizativas que ayuden a las personas a definir objetivos. Si los usuarios del ordenador parten de una imagen definida de lo que desean obtener, seguirán un camino bastante directo a través de su construcción inicial y fiarán en pasadas sucesivas para criticar, corregir y alterar.

Si la posesión de una buena biblioteca se reputó carácter distintivo del hombre del Renacimiento, el omnipresente ordenador interconectado del futuro conformará a los humanos que desde temprana edad muestren un sano escepticismo. Cualquier argumento se puede poner a prueba y cotejarlo con las razones aducidas por otros mediante la simulación.


BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

UNDERSTANDING MEDIA: THE EXTENSIONS OF MAN. Marshall McLuhan. McGraw-Hill, 1965.

TOWARD A THEORY OF INSTRUCTION. Jerome S. Bruner. Harvard University Press, 1966.

THE STRUCTURE OF SCIENTIFIC REVOLUTIONS. Thomas S. Kuhn. University of Chicago Press, 1970.

AMUSING OURSELVES TO DEATH: PUBLIC DISCOURSE IN THE AGE OF SHOW BUSINESS. Neil Postman. Viking Penguin, 1985.

THE RING OF TRUTH: AN INQUIRY INTO HOW WE KNOW WHAT WE KNOW. Philip Morrison y Phylis Morrison. Random House, 1989.

# Juegos matemáticos

## *Salto al espacio de Lyapunov*

A. K. Dewdney

Mario Markus, del Instituto de Nutrición Max Planck, se hallaba investigando los procesos digestivos cuando descubrió la belleza en el seno del caos. En un esfuerzo por simular la degradación enzimática de los hidratos de carbono, Markus y su colaborador Benno Hess han estudiado diversos modelos matemáticos. Habían encontrado que, ajustando un par de parámetros, podían hacer que sus enzimas matemáticas se comportasen ya ordenada, ya caóticamente. Markus, para ilustrar el caos inherente al modelo, creó una serie de fotografías que no sólo proporcionaban nutrición al pensamiento, sino también un festín para la vista.

Las imágenes están basadas en una fórmula que recibe su nombre del matemático ruso Aleksandr M. Lyapunov. La fórmula le asigna a cada sistema dinámico un número unívocamente determinado. Tal número, conocido por exponente de Lyapunov, constituye una medida de la caoticidad con que se está comportando el sistema. Aplicada al modelo de Markus, la fórmula de Lyapunov genera un exponente para cada par de parámetros. Representando cada par mediante un punto del plano y asignándoles color en función del valor del exponente, Markus ha creado lo que aquí denomino "espacio de Lyapunov". En este territorio virgen, el orden mora en los contornos coloreados, al tiempo que el caos acecha en las regiones más sombrías.

No mucho después de que su trabajo fuese publicado en las revistas científicas, Markus envió algunas de sus imágenes a una galería de arte, para ser exhibidas. Mal podríamos culparle por ello, pues sus trabajos pudieran muy bien haberse debido a alguien formado en el taller de Salvador Dalí.

El modelo desarrollado por Markus se funda en una variante de la llamada fórmula logística, la más sencilla de las fórmulas conocidas que describen sistemas dinámicos caóticos. La fórmula contiene una variable, $x$, cuyo valor se encuentra siempre entre 0 y 1. Comprende también un parámetro asociado al sistema, el coeficiente $r$. La fórmula puede escribirse así:

$$x \leftarrow rx(1 - x)$$

La flecha expresa que, una vez efectuado el producto de los tres números $r$, $x$ y $1 - x$, el número resultante pasa a ser el nuevo valor de $x$, o sea, que el antiguo valor de $x$ ha de ser reemplazado por éste. El proceso puede entonces reiterarse tantas veces como se quiera, con lo que la fórmula irá arrojando continuamente nuevos valores de $x$.

La sucesión resultante podrá ser fascinante para los especialistas en sistemas dinámicos; pero, ¿a qué viene todo esto? La ecuación logística recibe su nombre de la logística de las poblaciones animales. En dicha ecuación, $x$ representa el cociente de dividir el número de animales que hay en una región aislada entre el máximo absoluto de los que se calcula que tal región podría albergar. Por consiguiente, la cantidad de alimento dis-



*1. ESPACIO DE LYAPUNOV* (izquierda) *y un detalle* (derecha) *que muestra la "golondrina".*

ponible es proporcional a $1 - x$. Dicho con otras palabras, conforme el número de animales ($x$) se va aproximando al máximo (1), la disponibilidad de alimento ($1 - x$) decae hacia 0. El parámetro $r$ expresa la proporcionalidad, que podríamos interpretar como la fecundidad de la población. Cuanto mayor el valor de $r$, tanto más deprisa se recuperará la población de un desastre cualquiera. Pero bastante extrañamente, son los valores más elevados de $r$ los que más rápidamente conducen a poblaciones caóticas. Aunque la ecuación es demasiado sencilla para poder representar poblaciones animales reales, sí puede hacer el papel de aproximación burda de la dinámica de la población.

Mientras el parámetro $r$ se conserve menor que 2, la secuencia de números producidos apunta rápidamente a un único valor. El valor inicial de $x$ utilizado en la fórmula carece de importancia: mientras $r$ sea menor que 2, la población converge siempre hacia un valor estable. En la jerga de la teoría del caos, los sistemas cuya dinámica se estabiliza en un único valor se dice que poseen un atractor atómico o monopuntual.

Si el parámetro $r$ es mayor que 2, aunque menor que 2,45 aproximadamente, la fórmula logística va generando números que acaban por ir alternando entre dos valores. El sistema converge entonces hacia un atractor diatómico, o sea, un atractor de dos puntos. En cierto sentido, cuando la fecundidad es elevada, la población ha de pagar el precio: su tamaño va fluctuando con el tiempo.

Al incrementar el coeficiente de fecundidad, rebasando ligeramente el valor de 2,45, la fórmula logística produce números que convergen hacia un atractor de cuatro puntos. Valores algo más elevados de $r$ conducen muy rápidamente a atractores de ocho puntos primero, enseguida, de 16, y así sucesivamente. Pero cuando el valor de $r$ se hace mayor que 3,57 (o, para hablar con ajustada precisión, mayor que 3,56994571869) se penetra en el reino del caos.

A tal nivel de fecundidad, la fórmula parece generar valores al azar, aunque, como es obvio, se trate de una fórmula determinística. La razón de tan extraña conducta reside en el atractor, un conjunto fractal unidimensional. Lo mismo que todos los objetos fractales, es sibisimilar: al ampliar una cualquiera de sus partes, por pequeña que sea, la región ampliada se parece muchísimo a la total.

La suerte de nuestra hipotética población se recoge en la figura 2. El diagrama representa, en ordenadas, la fecundidad $r$ y, en abscisas, el valor hacia el que converge la fórmula logística. El resultado es una especie de árbol. Los atractores monopuntuales componen el tronco; los bipuntuales, el primer par de ramas. Podemos ver claramente la instauración del caos a un valor de $r$ igual a 3,57, el nivel de proliferación de las ramificaciones.

Podemos caracterizar el caos mediante la fórmula de Lyapunov. La fórmula produce, para cada sistema dinámico, un único número, el exponente de Lyapunov. Si tal número es menor que 0, el sistema es estable. Si mayor que 0, el sistema es susceptible de comportamiento caótico.

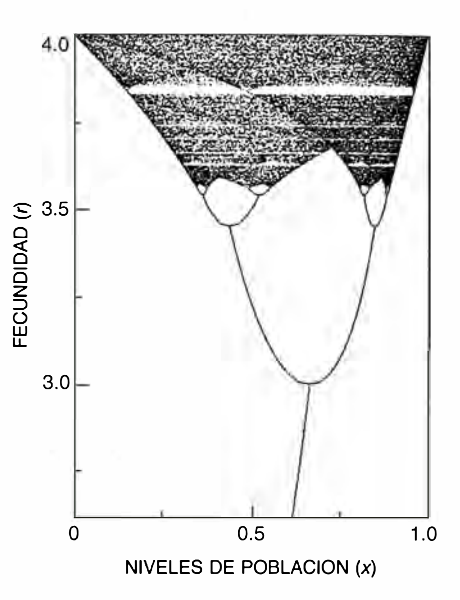
Aunque la fórmula de Lyapunov es complicada, resulta posible descomponerla en una serie de pasos sencillos. En el caso del sistema logístico, partimos de un valor concreto de $r$. Se procede a iterar la fórmula logística, 600 veces, por ejemplo, con el fin de que los números converjan hacia cualesquiera atractores contenidos en el sistema. Una vez que los números se han estabilizado podemos calcular sin temor el exponente de Lyapunov. El cómputo a realizar está esbozado en la siguiente rutina:

```
total ← 0
para n ← 1 hasta 4000
  x ← rx(1 — x)
  total ← total + ((log |r — 2rx|) / log 2)
  lyap ← total / 4000
```

El algoritmo comienza haciendo *total* = 0; procede después a iterar 4000 veces la fórmula logística. Va calculando en cada iteración el nuevo valor de *total* sumando al valor precedente de *total* el logaritmo de $|r - 2rx|$ dividido por el logaritmo de 2. (Las barras verticales indican que hay que tomar el "valor absoluto" de $r - 2rx$.) La cantidad $|r - 2rx|$ representa la velocidad de crecimiento o disminución de los sucesivos valores. Una vez que ha sumado los 4000 logaritmos, el algoritmo procede a dividir la suma entre 4000. El resultado, que arriba le ha sido asignado a la variable *lyap*, viene a ser como un logaritmo medio de cambio, y su valor se aproxima al auténtico exponente de Lyapunov.

Los lectores con mayor exigencia de precisión pueden estimar el exponente de Lyapunov aumentando el número de iteraciones, y dividir, a la conclusión del bucle, por el número de las efectuadas.

Recomiendo a los lectores que apliquen el algoritmo anterior para calcular el exponente de Lyapunov correspondiente a $r = 2$. Compárese después el resultado con el obtenido




*2. LOS NIVELES de población,* x, *pueden fluctuar sobre una más amplia gama de valores al aumentar el factor de fecundidad,* r.

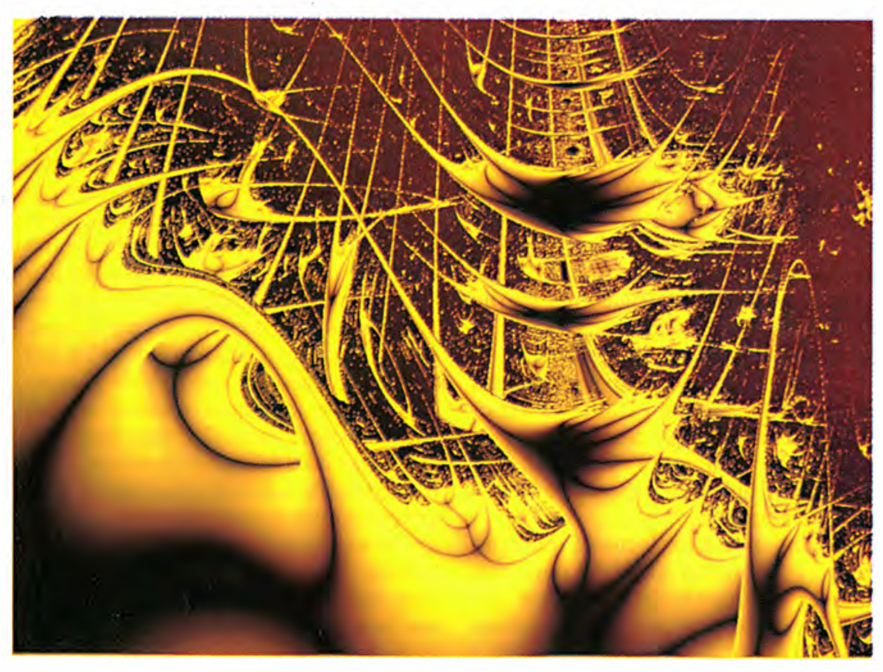
en el caso $r = 3$. El primer número debería ser negativo, indicativo de sistema estable, y el segundo positivo, clara advertencia de caos.

Las fotografías que ilustran este artículo están basadas todas ellas en la ecuación logística. Markus se limita a aportar un giro propio. Para producirlas, se valió de forzamiento periódico, lo que significa que $r$ va cambiando de valor periódicamente, alternando entre dos números fijos, $a$ y $b$. Dicho de otro modo, la ecuación logística es iterada dando a $r$ el valor $a$, después el $b$, después $a$, $b$, $a$, $b$, y así sucesivamente. El sistema resultante puede desarrollar comportamiento caótico o no. La única forma de dirimir la cuestión es calculando el exponente de Lyapunov.

Por esa razón, Markus representó el valor del exponente para cada posible combinación de valores de $a$ y $b$. Al colorear los puntos $(a, b)$ obedeciendo a un plan coherente, emerge en el espacio de Lyapunov una imagen bidimensional. Markus le asignó el color negro a todos los puntos $(a, b)$ que producen valores no negativos para el exponente de Lyapunov. Es caos el negro. En todos los demás lugares del espacio de Lyapunov vemos distintos matices de un mismo color, amarillo, por ejemplo. Al bajar desde un exponente cero hasta menos infinito, el matiz va progresivamente oscureciéndose, pasando de un amarillo luminoso hasta casi marrón oscuro. En cero se produce una abrupta discontinuidad, por pasar bruscamente el color de amarillo brillante a negro.



3. *UNA "MEDUSA" de Lyapunov.*



4. *ZIUDAD ZIRCON, metrópoli futurista.*

Las imágenes resultantes constituyen mapas del caos en el sistema logístico forzado. En particular, el mapa de la figura 1 representa el sistema simplista recién descrito. El parámetro $r$ oscila con regularidad perfecta entre $a$ y $b$.

En cualquiera de las ilustraciones, los puntos de cruzamiento de dos o más agujas revelan la existencia de atractores periódicos. Significa esto que en un punto ($a$, $b$) donde acontezca uno de estos cruces, el correspondiente sistema dinámico en el que $r$ va alternando entre $a$ y $b$ poseerá dos atractores. Cuál de los atractores sea el que opere es cosa que depende, y no deja de ser curioso, del valor inicial de $x$ que se elija antes de la iteración.

Si se representa gráficamente el exponente de Lyapunov para una sucesión de valores iniciales de $x$, podría tomar un valor específico, por ejemplo, 0,015, para cierto número de valores iniciales. Después, es posible que el exponente salte súbitamente a otro valor, 0,142, al cual se adhiera durante unos cuantos sucesivos valores más de $x$ antes de revertir al primer valor. Este vaivén puede tornarse francamente frecuente.

El espacio de Lyapunov suele contener bandas sombrías que corren a lo largo de las agujas. Tales bandas representan regiones superestables; en ellas, los subyacentes sistemas logísticos forzados exhiben una conducta de máxima regularidad.

El espacio de Lyapunov generado por alternancia de los valores $a$ y $b$ contiene una mota diminuta que se asemeja a una golondrina. La mota ha sido ampliada en la figura 1. Allí, detrás de la cola de la golondrina, se encuentra otra manchita. Dejo a los lectores en libertad de imaginar cuál podría ser el resultado de ampliarla de forma similar.

La aparición de sibisemejanza en la figura no debería sorprender a los estudiosos del caos. Los procesos caóticos tienden con gran frecuencia a producir estructuras que exhiben sibisemejanza.

Modificando ligeramente los métodos utilizados para crear la golondrina madre y su progenie, podemos generar una pléyade de diferentes criaturas. Las imágenes de estas páginas únicamente se diferencian en la secuencia en que sean utilizados los valores de $a$ y $b$. Por ejemplo, a partir de una secuencia que comienza $b$, $b$, $a$, $b$, $a$ y se repite después indefinidamente, se engendra una "medusa".

La escena de la figura 4 nos recuerda la portada de una revista de ciencia-ficción de los años cincuenta. La he llamado Ziudad Zircón por-

## El programa de Lyapunov

Daré algunas indicaciones para que los lectores que deseen explorar el espacio de Lyapunov puedan crear el programa adecuado. El núcleo del programa tendría que ser un bucle doble que recorriera los valores de *a* y *b*. Para calcular el exponente de Lyapunov correspondiente a cada combinación de *a* y *b*, el programa habría de contener una rutina basada en el algoritmo dado en el artículo. La rutina debería permitir el almacenamiento en una matriz unidimensional de distintas ristras de *a* y *b*. La rutina podría permitir al usuario que especificase la secuencia llenando las entradas de la matriz con ceros (denotativos de *a*) y unos (que representan *b*).

Con cada iteración del bucle de Lyapunov se puede utilizar un contador, o *índice*, para ir avanzando paso a paso por la matriz. Cada vez que el bucle interior produce un nuevo valor de *índice*, consultará el actual valor de *a* o de *b*, dependiendo de que en el valor de *índice* encuentre en la matriz un 0 o un 1. Finalmente, el programa debería contener una tabla de logaritmos para acelerarar los cómputos. Un ordenador personal puede tardar horas en generar una sola imagen en el espacio de Lyapunov.

que se trata, obviamente, de la futurista metrópoli donde moran los Zirconitas (sean quienes fueren). La secuencia generatriz de Ziudad es *bbbbbbaaaaaa*. Un ordenador, repitiendo esta secuencia al tiempo que va calculando el exponente de Lyapunov, puede construir Ziudad con sus inconsútiles puentes, áureas naves espaciales y sus aceras interplanetarias.

¿Y qué tiene que ver todo esto con las enzimas, los carbohidratos y la nutrición? En el mejor de los casos, una pequeña región de un cierto mapa de Lyapunov podría verdaderamente describir la dinámica de las enzimas descomponiendo los hidratos de carbono. Pero, lo que quizá sea más importante, el trabajo de Markus permite la visualización del forzamiento periódico. Podríamos decir incluso que ha conseguido hacer el caos más fácil de digerir.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

CHAOS IN MAPS WITH CONTINUOUS AND DISCONTINUOUS MAXIMA. Mario Markus en *Computers in Physics*, págs. 481-493, septiembre/octubre de 1990.

THE MAGIC MACHINE: A HANDBOOK OF COMPUTER SECRECY. A. K. Dewdney. W. H. Freeman and Company, 1990.

BIBLIOTECA SCIENTIFIC AMERICAN

EL SISTEMA SOLAR

ROMAN SMOLUCHOWSKI

EL SISTEMA SOLAR

ROMAN SMOLUCHOWSKI

**Un volumen de 22 × 23,5 cm y 180 páginas, profusamente ilustrado.**

Pertenecemos a la primera generación que ha visto la Tierra como objeto astronómico; desde la Luna, los hombres la han contemplado bajo una perspectiva nueva y única. Desde que se caminó sobre su superficie, ha crecido nuestra fascinación por el universo, los planetas y el origen de la vida. Los conceptos asociados a la revolución copernicana, a las leyes del movimiento de Newton e incluso a la teoría de la relatividad general han pasado a formar parte del conocimiento popular.

La nuestra es también la primera generación que ha visto los planetas —por lo menos, los cinco observables a simple vista— no como objetos brillantes del cielo nocturno sino como objetos de tres dimensiones. Las imágenes cercanas de Júpiter y Saturno obtenidas desde las sondas espaciales han mostrado que las atmósferas de estos gigantescos planetas gaseosos reaccionaban ante las mismas fuerzas de rotación y calentamiento solar que controlan el clima en nuestra propia atmósfera. Para los astrónomos, las mayores sorpresas las han deparado las lunas de los planetas visitados. En número rayando a la cincuentena, ofrecen todo tipo de tamaños y formas y poseen composiciones muy diferentes, pues mientras unos satélites son casi de hielo, otros son enteramente rocosos.

En *El Sistema Solar,* Roman Smoluchowski reúne las últimas imágenes proporcionadas por los ingenios espaciales y por los telescopios terrestres, para pintar un cuadro magnífico sobre la Tierra y su vecindario cósmico. Nos muestra la evolución del sistema solar en el espacio y en el tiempo mientras, en un estimulante epílogo, nos regala una concisa revisión de los orígenes de la vida y unas fascinantes hipótesis sobre su existencia en otros lugares.

A través de las impresionantes imágenes del Sol y de los planetas, de los enjambres de asteroides y de los mensajeros cometarios que provienen de los confines del espacio, captamos el origen, la historia y el destino final de nuestro Sol y de sus planetas.

Roman Smoluchowski, adscrito al Space Science Board (Consejo de Ciencias del Espacio) de la Academia Nacional de Ciencias norteamericana, contribuyó a la planificación de las históricas expediciones llevadas a cabo por la NASA en el sistema solar. Aportó su larga experiencia de trabajo teórico y aplicado en física de la materia condensada al estudio del origen de los planetas y su evolución. Nacido en Austria, trabajó en los General Electric Research Laboratories y en la Universidad de Princeton; actualmente es catedrático de Astronomía y Física en la Universidad de Texas en Austin.



*Prensa Científica*

# Libros

## *Al-Andalus, Alhacén, redes neurológicas y demografía*

Juan Vernet, Luis Alonso y Francisco Bustelo

**CIENCIAS DE LA NATURALEZA EN AL-ANDALUS. TEXTOS Y ESTUDIOS I.** Editados por E. García Sánchez. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Escuela de Estudios Arabes. Granada, 1990.

Este libro consiste en la edición de las comunicaciones presentadas en las Jornadas que, con ese mismo título, se celebraron en la Escuela de Estudios Arabes de Granada entre el 6 y el 8 de abril de 1989. La publicación presenta los textos en el orden en que las leyeron sus autores: [1] Toufic Fahd; [2] R. Muñoz; [3] M.ª Paz Torres; [4] I. Garijo; [5] M. A. Navarro; [6] C. Alvarez de Morales; [7] E. Llavero; [8] M. D. Guardiola; [9] I. Lozano; [10] M. El Faiz; [11] E. García Sánchez; [12] A. Labarta; [13] M. Marín; [14] J. M. Carabaza; [15] J. E. Hernández Bermejo; [16] M. C. Montoro y [17] A. C. López.

El lector de *toda* la obra podrá hacerse una idea de lo que fueron la agronomía, la botánica, la farmacología, la zoología y, en parte, la medicina durante los siete siglos en que la lengua árabe se utilizó como vehículo de la cultura en la Península Ibérica, tomando los datos de una u otra monografía cuyo conjunto (las diecisiete) deberán tenerse en cuenta en las futuras historias de la ciencia árabe. Leyéndolas en detalle puede establecerse la cronología relativa de los principales autores hispano-musulmanes que se consagraron al estudio de la agricultura, aunque de la mayoría de ellos no tengamos más datos biográficos que los que encontramos en sus obras. La serie podría establecerse así: *1*) Arib b. Said [*17*], médico y cronista cordobés del siglo X, al que frecuentemente se designa como Arib b. Sad; *2*) Ibn Chulchul [*4*], coetáneo del anterior, discípulo del monje bizantino Nicolás, con quien leyó la *Materia Médica* de Dioscórides, y es autor de varias obras de botánica que completan y amplían el texto del autor clásico y prueban que el comercio de las plantas medicinales, en la Córdoba del siglo X, alcanzaba hasta India y Afganistán. Esta monografía, de Ildefonso Garijo, constituye un breve avance de su tesis doctoral, que ya ha leído en Córdoba (junio 1991), en la cual edita y traduce ese conjunto de textos hasta hoy olvidados.

Posiblemente, en la primera mitad del siglo XI se conocía ya en al-Andalus la *Agricultura Nabatea* del oriental Ibn Wahsiyya, puesto que se encuentran ecos suyos en el *3*) seudo-Machrití [*10*], que puede identificarse con el Abu-l-Qásim Maslama (m.c. 1054) de Sezgin [*Geschichte des arabisches Schriftums* 4 (Leiden, 1971)], autor del *Gayat al-hakim = Los objetivos del sabio* que, con el nombre de *Picatrix*, conoció una traducción castellana alfonsí (cf. "Investigación y Ciencia" [julio, 1991], 94-95) [*1*]. Coetáneamente, y bajo la protección del reyezuelo taifa al-Mamún de Toledo, habían realizado una serie de experimentos sobre la aclimatación de plantas e injertos en la Huerta del Rey *4*) Ibn Bassal quien, al escapar de la ciudad ante el avance de la Reconquista, se había refugiado en Sevilla para seguir sus trabajos en el jardín del sultán (el reyezuelo de la ciudad, al-Mutámid). Al mismo tiempo habrían trabajado *5*) Ibn Wáfid, cuya obra como agrónomo se discute si le pertenece realmente a él o al médico califal *6*) al-Zahrawí. En todo caso, la aportación agronómica de este último autor, el gran médico del Califato, ha sido analizada debidamente a través de la parte farmacológica de su obra [*7*]. Este detalle tiene importancia secundaria, ya que el *texto*, traducido al castellano tres siglos más tarde, influyó en el geópono renacentista Gabriel Alonso de Herrera (1513). Al mismo período (principios del siglo XII) pertenecen Ibn Hachchach de Sevilla, apodado al-Sachchar, y *7*) Abu-l-Jayr [*14*]. Este último fue autor de un *Libro de agricultura* y de otro sobre *Las plantas* que, con posterioridad a la fecha de la obra que reseñamos (primavera de 1991), ha sido identificado por el investigador marroquí al-Jattabi con el texto utilizado por Miguel Asín para establecer su *Glosario de voces romances registradas por un botánico anónimo hispanomusulmán (siglos XI-XII)* (Madrid-Granada, 1943). Al-Jattabi ha editado la obra en cuestión en dos volúmenes.

Ligeramente posterior a estos geóponos debió ser *8*) al-Tignarí, granadino [*11*], quien no sólo fue agrónomo sino también buen escritor, pues lo cita Ibn Bassam (m. 1147) en su *Antología de los escritores árabes de la Península*. Más tardío (¿principios del siglo XIII?) es el *9*) *Libro de Agricultura* de Ibn al-Awwam (editado y traducido al castellano, en doble columna, por Banqueri [Madrid, 1802] y reimpreso por los Ministerios de Agricultura y Asuntos Exteriores en 1988), que constituye una enciclopedia de todo el saber geopónico de los andalusíes de la época y un empedrado de citas textuales precedidas por el nombre del autor de quien las toma. Otro resumen del mismo tipo —pero dirigido a los farmacólogos— es el de *10*) Ibn al-Baytar [*9*]. Este género de literatura concluye en la Granada nazarí con la figura de *11*) Ibn Luyún.

Hay artículos que subrayan el interés de otras fuentes, como son los calendarios agrícolas [*2*]; un estudio, en vías de realización, sobre la alimentación de los musulmanes de la Península [*12*], o el análisis de la lista de peces [*3*] que figuran en el *Vocabulista* del P. Alcalá (1505) y que permite saber hasta dónde llegaba el conocimiento de los granadinos sobre este tema en el momento de la conquista de la ciudad por los cristianos. No menos interesante es la leyenda beréber recogida por [*2*] sobre los "días de la vieja", cuyo tema hace pensar en los cuentos de Zabalawi de Nagib Mahfuz.

El tratamiento mediante ordenador de los datos transmitidos por estos textos —hay que señalar que en parte ya habían sido traducidos— permite llegar a conclusiones interesantes: fecha aproximada de la introducción de los cítricos en la Península [*16*]: el cidro, preislámico, seguido por el limonero, la naranja amarga (siglo XI), la naranja dulce y la lima; idénticamente pueden establecerse las diferencias entre los sistemas de cultivo recomendados por los autores medievales y los actuales, o analizar el *Libro de los simples* de Ibn al-Baytar [*5*], trabajo en el que se nos presentan como muestra un par de salidas de ordenador. También, en de-

terminados casos, como el del cáñamo, el autor [*9*] pasa al análisis de las cuestiones jurídicas que puede plantear su uso, dadas sus propiedades estupefacientes. Una de las monografías [*13*] da la lista de plantas que se consideraban como alimenticias en Oriente, y otro, debido a un agrónomo contemporáneo [*15*], muestra las dificultades que plantean las identificaciones de la mayoría de vegetales citados por los expertos andalusíes en términos científicos modernos, dando una lista de las equivalencias seguras o probables de aquéllas con los nombres linneanos. Esto le permite describir, de modo escueto pero fiel, cómo debió ser el paisaje que tenían ante sus ojos nuestros antepasados de hace mil años.

Un artículo [*8*] da un buen repertorio de los aperos y el instrumental agrícola citado en esos textos. Alguno de éstos, el *istirlab* (con *i*), parece sugerir que se aprovechaban procedimientos típicos de los constructores de *ganats* o minas tal y como los describe en Oriente al-Karachí.

Muchos de estos tratados eran a la vez un manual del "buen granjero" [*6*] y trataban del cuidado de los animales domésticos que, en algún caso, llegan hasta el punto de explicar cómo hay que adiestrar a las palomas mensajeras que tanto se utilizaron en el siglo XI para el correo "aéreo".

Como puede verse, el libro contiene un conjunto de trabajos independientes que, al centrarse todos sobre un mismo tema, no sólo permiten al lector conocer la situación actual de la investigación en el campo de la agronomía andalusí, sino también enterarse por adelantado de los fructíferos resultados que cabe esperar de las investigaciones en curso. (J. V.)



*1. Planisferio celeste en el que las estrellas se proyectan en el hemisferio Cáncer-Sagitario. Procede del manuscrito D-97 = 9-28-8/5707 (folios 102 verso y 103 recto) de la Real Academia de la Historia que contiene el primero de los* Libros del Saber de Astronomía.

**THE OPTICS OF IBN AL-HAYTHAM.** Traducción al inglés con introducción y comentarios de A. I. Sabra. Londres; The Warburg Institute-Universidad de Londres, 1989. **IBN AL-HAYTHAM'S ON THE CONFIGURATION OF THE WORLD**, por Y. Tzvi Langermann. Garland Publishing, Inc.; Nueva York-Londres, 1990. **"OCHAVA ESFERA" Y "ASTROFÍSICA". TEXTOS Y ESTUDIOS SOBRE LAS FUENTES ÁRABES DE LA ASTRONOMÍA DE ALFONSO X.** Edición preparada por Mercé Comes, Honorino Mielgo y Julio Samsó. Agencia Española de Cooperación Internacional-Universidad de Barcelona; Barcelona, 1990.

Samsó confiesa en el tercer libro que la mitad del mismo "no se hubiera podido llevar a término con unas mínimas garantías de seriedad de no ser por la amabilidad de Tzvi Langermann, quien nos permitió fotocopiar su tesis doctoral presentada en la Universidad de Harvard: una edición crítica del original árabe de la obra de Ibn al-Haytam, acompañada de la traducción inglesa y comentario. El trabajo de Langermann contiene, asimismo, un cotejo del texto árabe con las versiones hebreas y latinas conservadas, entre las que se encuentra la del rey Alfonso. No obstante, Langermann no edita el texto íntegro de nuestra versión latina y el punto de vista que adopta en la obra no es el mismo que aquí nos interesa. No creemos, por ello, haber incurrido en una repetición de una labor ya realizada".

Langermann comienza así su prefacio: "El libro que presento constituye una completa reelaboración de mi tesis doctoral. Amén del empeño puesto en corregir los errores, pulir el lenguaje y poner al día el estado de la cuestión, he incorporado dos revisiones muy sustanciales: 1) he dividido la edición árabe y su traducción inglesa en párrafos de numeración consecutiva, lo que facilita la remisión en el interior del texto y del original a su traslación; 2) el comentario y la introducción de la disertación, farragosos y plagados de rodeos, se han refundido en una sola introducción, más compacta y, en ello confío, más directa." Reconoce más adelante la ayuda prestada por A. I. Sabra y Owen Gingerich en la elaboración del trabajo de grado y en la publicación del mismo.

Sabra, por su lado, relata también la historia de su trato con al-Haytham: "Mi trabajo sobre la edición y traducción de la *Optica* empezó hace tanto tiempo, que me resulta difícil acotar la fecha en que tomé la decisión de embarcarme en él. La semilla de la que iría brotando debió plantarse en las postrimerías de la década de los cincuenta, cuando, siendo docente en la Universidad de Alejandría, solía visitar a Mustafá Nazif en su domicilio de Giza, siempre que acudía a El Cairo. Nuestras conversaciones derivaban con frecuencia hacia la historia de la óptica, habida cuenta de que yo había investigado, en la Universidad de Londres, bajo la dirección Karl Popper, en las teorías de la luz en el siglo XVII."

Ya conoce, pues, el lector el nexo entre las tres obras referenciadas. Pero, ¿quién era al-Haytham, nuestro Alhacén? La bio-bibliografía oficial la constituye el artículo de Sabra en el *Dictionary of Scientific Biography*, se-

gún era de presumir, que aparece aquí reelaborada en las páginas XIX-XXXII del segundo de los cuatro volúmenes de que constará la obra. (El primero recoge la traducción de los tres primeros libros de la *Optica*.) Nacido en Basora en la segunda mitad del siglo X, al-Haytham murió en El Cairo a los setenta y cinco años, aproximadamente. De lo que escribió sobre filosofía, literatura y teología no nos ha llegado nada, ni siquiera el eco que sus doctrinas pudieron tener; mas su legado en óptica (fisiológica y geométrica), astronomía y matemática hizo de él una figura cumbre de la ciencia de todos los tiempos.

La *Optica* comprende siete libros y versa sobre las propiedades de la luz y su justificación empírica y matemática. El núcleo de su doctrina de la luz y la visión aparece ya en el libro primero; dedica el segundo al acto de conocer (*idea, forma, sura*) y su fundamento en la percepción visual; el tercero, a la visión binocular; el cuarto, a las leyes de la reflexión y su plasmación en distintas superficies y medios; el quinto, a la localización de las imágenes; el sexto, a los errores de visión inducidos por la reflexión de la luz, y el séptimo y último, al problema de la refracción. Sabra analiza otros escritos del iraquí sobre temas afines: comentarios a Ptolomeo, luz de las estrellas y la Luna, espejos ustorios, sombras, arco iris, etcétera. Además, por supuesto, de someter a criba los distintos manuscritos y fuentes indirectas que existen. Compagina el dominio de los idiomas clásicos, el árabe es lengua materna de este profesor de Harvard y del Instituto Warburg, en la interpretación *ad litteram* con la ilustración de los ingenios (*camera obscura*) y los principios geométricos y fisiológicos subyacentes.

La *Óptica* supone un paso adelante sobre la obra del mismo título de Ptolomeo (del siglo II de nuestra era), si bien pasó inadvertida en el mundo islámico hasta finales del XIII, cuando una centuria antes corría ya, traducida al latín, en Occidente y sirvió de guía a los clásicos medievales Roger Bacon, Witelo y John Pecham. (David Linberg es, a este respecto, el autor obligado, con una buena síntesis en *Theories of vision from al-Kindi to Kepler*.) Influencia que se reavivaría en el Renacimiento y en el siglo XVII con Snell, Kepler, Descartes, Barrow, de Sluse y Huygens. (Consúltese del propio Sabra la segunda edición de *Theories of light. From Descartes to Newton*.) Fue, en resumen, una obra más latina que árabe.

De la veintena de tratados sobre astronomía que perduran de al-Haytham destaca el titulado *Sobre la configuración del mundo*. Rechaza Langermann la opinión recibida (de Duhem, Nallino) según la cual se trataría de una reelaboración de las *Hipótesis de los planetas* de Ptolomeo y una suerte de resolución de los problemas que tenía planteados la cosmología medieval. Ibn al-Haytham se propone estudiar los movimientos abordados por los astrónomos a través de cuerpos tridimensionales, es decir, exponer las órbitas planetarias como si se tratara de cuerpos esféricos que proceden con un movimiento simple, continuo e incesante.

La obra se divide en dos partes y un apéndice. En la primera aparece el concepto preeminente de *falak* (orbe, traducido en latín por *celum*) y en ella se caracteriza también el mundo sublunar y las regiones celestes; la segunda se centra en los planetas y las estrellas fijas. No son partes estancas, ni exclusivas; cada planeta, por ejemplo, tiene su propio orbe, que es tridimensional, distinto del plano, bidimensional, del círculo descrito por el movimiento del planeta.

Langermann, del Instituto de Manuscritos Hebreos de Jerusalén, se detiene en la influencia de al-Haytham en la astronomía medieval judía, en particular en Levi ben Gerson (1288-1344) y en las traducciones hebreas de la *Configuración*. Pasa algo más rápido por las versiones latinas, ponderando a este respecto el trabajo de Millás Vallicrosa, para concluir exponiendo las fuentes árabes en que funda su espléndida edición crítica, sobriamente comentada y enriquecida con un "lexicón" tan útil cuan esquemático.

La aportación española no desmerece del valor documental de las dos obras precedentes. Ese otro enfoque al que aludía la cita de Samsó se sustancia en el contexto alfonsí de la traducción latina de la *Configuración*, preparada por José Luis Mancha. Dato curioso, este texto sería el tercer caso, con el *Quadripartito* y el *Libro conplido en los iudizios de las estrellas,* de retraducción de una versión castellana al latín realizada en el círculo del monarca sabio, aunque este juicio deba matizarse. (David Romano, por ejemplo, prefiere omitir la obra de al-Haytham y el propio Samsó corrobora la falta de pruebas sobre una posible intervención directa de ningún colaborador real; los "retraductores" de los otros fueron Egidio de Tebaldis y Pietro de Regio.)

El interés de la versión latina reside en que constituye una ventana para adentrarnos, a través de las interpolaciones y reestructuración de la obra árabe, en la astronomía alfonsí, que se definirá por su gusto por la uranografía, los instrumentos y las tablas. Samsó se explaya en las divergencias del original y en los errores de la traducción latina. Mancha completa el enfoque ciñéndose a las exigencias metodológicas de una edición crítica. El libro español contiene, además, otros estudios sobre la astronomía alfonsí que consolidan el prestigio internacional de la escuela que abrió Millás y mantiene floreciente Vernet, con los citados aquí y sus discípulos. (L. A.)

**MIND, BRAIN AND ADAPTATIONS IN THE NINETEENTH CENTURY**, por Robert M. Young. Oxford University Press; Oxford, 1990. **THE ENCHANTED LOOM. CHAPTERS IN THE HISTORY OF NEUROSCIENCE**. Dirigido por Pietro Corsi. Oxford University Press; Oxford, 1991.

Constituyen, respectivamente, los volúmenes tercero y cuarto de una nueva colección sobre historia de las neurociencias que ha incoado recientemente la prestigiosa editorial de la universidad oxoniense, abierta con una selección comentada de escritos de Ramón y Cajal.

La obra de Young es una reimpresión de su renombrada historia de la frenología desde Gall hasta Ferrier. En estricto sentido académico podría aplicársele la secuencia genealógica a la que son tan dados los anglosajones; y así, este libro trata de *Ferrerius qui fuit Fritschi (et Hitzigii), qui fuit Jacksoni, qui fuit Spencerii, qui fuit Brocae, qui fuit Baini, qui fuit Galli*, filiaciones que tienen la misma interpretación laxa que las veterotestamentarias. Tan ahondadas están aquí sus respectivas doctrinas, que los diccionarios que vinieron luego suelen limitarse a extractar lo expuesto por el autor. Erwin H. Ackerknecht, maestro de historiadores de la psiquiatría, le reconoce su rigor, aun cuando lamenta que Young no pudiera consultar en su idioma los médicos alemanes. (El juicio aparece en el prólogo a esta reimpresión.) Y no por pudor hemos de callar que pase por alto en la bibliografía actualizada del tema los escritos españoles, en particular *John Hughlings Jackson*, de José María López Piñero.

La idea central del libro es mostrar los esfuerzos de los neurólogos del siglo XIX por fundar biológicamente las funciones de la mente; es decir, por sacar la psicología del ámbito filosófico y dotarla de los métodos experimentales propios de la biología; o también, abordar el problema mente-

cerebro desde una perspectiva anatómico-fisiológica.

El capítulo primero es una exposición crítica de la última edición de la obra principal de Franz Joseph Gall (1758-1828): *Sur les fonctions du cerveau et sur celles de chacune de ses parties* (París, 6 volúmenes, 1822-25). La idea que pervive del médico germano afincado en París es la del fundador de la frenología, doctrina según la cual los rasgos sobresalientes del carácter se corresponden con las protuberancias del cráneo, con su relieve. Pero esa opinión, media verdad sólo, es falsa por entero cuando se la lleva a extremos ridículos y saca de contexto. A Gall hay que abordarlo a través del análisis de tres cuestiones fundamentales: ¿Cuáles son las funciones del cerebro? ¿Cómo se localizan en el cerebro? ¿Cómo podemos determinar las funciones y sus localizaciones? El estudio de las funciones cerebrales pertenece al terreno de la observación y experimentación, aun cuando entre éstas destacan la mente, el comportamiento y el carácter; funciones que dependen de la organización del cerebro, no menos que el instinto sexual, el sentimiento de autodefensa, la memoria verbal, el sentido de la orientación, el lenguaje o la habilidad numérica.

En la localización de las funciones, Gall se sirvió de la ayuda de su discípulo J. C. Spurzheim. El método conjuga el estudio de ciertos rasgos de la corteza con el desarrollo de la craneología.

Por último, Franz J. Gall determina las funciones y sus sedes respectivas por nueve caminos, de los que destacaremos la correlación entre tendencias, sentimientos y talentos (sacados del lenguaje común) con las prominencias craneanas, la contraprueba (a individuos mediocres, caja lisa), estudio comparativo de distintos cráneos y la biografía del sujeto, mutilación experimental y mutilaciones accidentales. Contra esa segmentación o topografía psicológica se levantó la medicina académica, representada por Flourens, tema central del capítulo segundo.

En el sesgo británico en que se mueve en buena parte el autor cabe interpretar la importancia que concede al problema del sensismo y asociacionismo, ligado al origen de las ideas. Por eso prima el papel de la epistemología (Locke), la lógica (Mill) y la psicología (Bain). Fue este último fundador de la revista *Mind* y cumplió una misión de puente entre la teoría del conocimiento clásica (no importa qué forma adquiriese) y la neurología. Bain afirma que sería bueno averiguar si las distintas manifestaciones mentales —sentimientos, voluntad e inteligencia— se anclan en sedes cerebrales locales; el método que usa, sin embargo, no es el de la observación o el análisis comparado de los cráneos, sino las reglas de la asociación y la introspección.



*2. Sección del globo ocular y sus componentes en inclusiones céreas, que se conserva en el Museo de Historia Natural de la Universidad de La Specola. (Ultimo tercio del siglo XVIII.)*

Se muestra severo, aunque no injusto, con el papel otorgado a Pierre Paul Broca (1824-1880) en la historia de la neurología; ve en el médico francés el arranque de esa disciplina con su descubrimiento del órgano de la función del lenguaje: giro frontal inferior izquierdo. Young enmarca la historia de la afasia remontándose hasta Hipócrates; si bien el nudo de la cuestión yace en el trabajo de Jean Baptiste Bouillad, quien publicó en 1825 un estudio sobre la relación de la pérdida del habla con una lesión de los lóbulos anteriores del cerebro.

Tuvo Herbert Spencer (1820-1903) cierto predicamento en España. Más por su inserción en la política de la polémica evolucionista (recuérdese la traducción en Daniel Jorro de sus *Ensayos científicos*) y en el soplo de corriente biosociológica ("de genética social" se hablaba entonces) que constipó a varios intelectuales de comienzos de siglo, que por el conocimiento genuino de su doctrina. Young lo convierte en auténtico quicio entre Gall y Ferrier. A él, que se adscribe en un comienzo a la teoría frenológica, se le debe haber puesto la psicología asociacionista en el sendero de la biología evolutiva. Evolu-

ción que es primero y principalmente lamarckista para admitir a regañadientes, en su obra postrera, el mecanismo de la selección y la adaptación.

Si innegable es la huella de Spencer en Jackson, menos discutible es el influjo de Darwin en Carpenter. Pero el peso de ambos neurólogos en la historia de su disciplina viene por la atribución de las funciones sensoriales y motoras a la corteza. "Ya me ocupara de la corea, de las convulsiones o de la fisiología del lenguaje, expone Jackson, escribí siempre partiendo del supuesto según el cual el hemisferio cerebral está transido de los procesos que representan impresiones y movimientos." William Carpenter, por su lado, distinguirá entre centros inferiores y automáticos del dominio sensorio-motor y cerebro estrictamente dicho, cuyas funciones son las propias de la mente (percepción, inteligencia y voluntad). Ese planteamiento de fondo lo concreta Young en la disquisición novecentista sobre el tálamo, responsable de la sensibilidad, y el cuerpo estriado, fuente del movimiento. El *experimentum crucis* no tardó en llegar de la mano de dos jóvenes médicos alemanes, Gustav Fritsch y Eduard Hitzig, cuyos resultados publicaron en 1870 (*Über die elektrische Erregbarkeit des Grosshirns* = "Sobre la excitabilidad eléctrica del cerebro"); habían comprobado que "una parte de la convexidad del hemisferio del perro era motora..., pero no la otra... Por estimulación eléctrica de la región motora se produce la contracción muscular del costado opuesto del cuerpo".

Y llegamos así a *The Functions of the Brain* de David Ferrier, obra del mismo título que el de la escrita por Gall cincuenta años antes. En ese medio siglo se ha pasado de la intuición frenológica, degenerada luego en pseudociencia, a la neurofisiología técnica. Dos cabos de un solo arco. Para ello han sido imprescindibles el trabajo de Fristch y Hitzig, ahora extendido a otras especies animales, y la verificación experimental de las inferencias clínicas de Jackson, en particular sobre la epilepsia inducida.

Para entrar en el telar encantado donde millones de lanzaderas tejen un patrón que se autodeshace sin perder el significado, que diría Charles S. Sherrington, y que da título a la segunda obra (*The enchanted Loom*), conviene penetrar de la mano de dos magníficas guías, *El cerebro* y *Función cerebral*, publicadas ambas por Prensa Científica. La verdad es que, para aproximarse a la historia de la ciencia, cualquiera que sea la disciplina, importa saber el estado actual del cuerpo teórico biografiado. La recomendación de esos dos volúmenes en particular se funda, entre otras razones, en que el lector encontrará allí una exposición clara de los conocimientos a que hace referencia la tercera parte de *The enchanted Loom*: nacimiento y fronteras de la neurología.

Las dos partes precedentes están dedicadas, respectivamente, al arte de la memoria y al descubrimiento del cerebro. Las tres comprenden la historia de las neurociencias desde los griegos hasta nuestros días. No se trata, sin embargo, de una exposición histórica al uso, sino de ensayos globalizadores complementados con un aparato iconográfico extraordinario, donde cada imagen merece una aclaración pormenorizada.

Quizá la más floja de las tres sea la primera, una reflexión sobre el concepto de memoria en cuanto reminiscencia compilada del saber, de las creaciones artísticas y literarias precartesianas Por decirlo con una expresión propia del contexto, viene a ser como entender la historia de la metalurgia a través del comentario orteguiano de "La fragua de Vulcano" velazqueña.

Diametralmente opuestas son la segunda y la tercera partes. Comparten un enfoque exigente del progreso del saber anatómico y fisiológico, avance que ni es lineal ni de paso uniforme. Me interesa destacar, sin embargo, otro punto en común: la atención puesta a la importancia de la técnica en los saltos hacia adelante. En los siglos XVII y XVIII, la trepanación y los cortes accidentales siguen siendo la vía usual para adentrarse en la morfología del cerebro, así como la vivisección de encéfalos animales (con los errores que las extrapolaciones traerán, como en el caso de la *rete mirabile*). Pero se idean otros medios mecánicos, como poner a hervir membranas (meninges) para estudiar su composición última, la lesión inducida en animales para investigar reflejos, la inyección de sustancias céreas para seguir su curso, el microscopio.

El invento del microscopio acromático en los años veinte del siglo pasado, el desarrollo de la teoría celular, la "reacción negra" o "método de impregnación en plata" de Golgi y la teoría cajaliana de la neurona constituyen hitos en la renovación (nacimiento dice esta obra) de la neurología, cuyo asentamiento vendrá de la mano de la biofísica (electrodos), la bioquímica (neurotransmisores) y la conjunción de ambas en la tomografía de emisión de positrones.

Junto a ello un nuevo método de investigación, que abarca desde el estudio detallado de distintos procesos (visión, percepción y memoria) hasta la búsqueda de analogías mecánicas con la inteligencia artificial. Un esfuerzo singular por desentrañar la única cuestión que realmente le importa al hombre y de la que, como ha señalado Francis Crick en estas mismas páginas de la revista, depende la visión que tengamos del universo. (L. A.)

**EXPECTATIONS OF LIFE. A STUDY IN THE DEMOGRAPHY, STATISTICS, AND HISTORY OF WORLD MORTALITY**, por H. O. Lancaster. Springer-Verlag; Nueva York, 1990.

Libro interesante, escrito con rigor anglosajón, pero de título engañoso, ya que de lo que en él se habla es de la patología en la historia y su influencia en la mortalidad. No obstante, las muertes, claro está, no se producen sólo por enfermedad, sino también por desnutrición y malnutrición, vejez, accidentes, guerras y otras causas violentas, verbigracia, infanticidio.

El autor, médico y estadígrafo australiano, centra su trabajo —que es más recopilación de fuentes secundarias que investigación original— en la aparición, evolución y tratamiento de las enfermedades a lo largo de la historia. De los 48 capítulos del libro sólo siete escapan a ese enfoque monográfico, para tratar de modo mucho más apresurado de la mortalidad en general, su influencia en el número de habitantes, su desglose por subpoblaciones y las muertes causadas por carencias alimentarias, guerras y accidentes.

Se echa de menos, así, una historia global de la mortalidad, cuya evolución constituye un aspecto tan esencial de nuestro pasado y presente. Hay, es cierto, atisbos de esa historia, pero nunca llegan a materializarse. El primer capítulo, con un encabezamiento prometedor, a saber, la mortalidad y la evolución de la sociedad, brinda información y reflexiones interesantes, dentro de su brevedad, sobre las causas de defunción en el hombre primitivo, el mundo clásico y la Edad Media. Sorprendentemente, de las Edades Moderna y Contemporánea, épocas en las que precisamente la mortalidad registra cambios radicales, nada se dice, salvo unos pocos párrafos sobre los registros parroquiales.

Es cierto que después, al hablar de la medición de la mortalidad, se recogen datos (ya publicados) sobre las

tasas brutas de mortalidad por decenios en una veintena de países desde 1750, así como la mortalidad por edades en los últimos 50 años.

Sin embargo, además de la falta de hilván entre unas épocas y otras, no se dice una palabra sobre el magno hecho de la transición demográfica, uno de los acontecimientos más importantes de la historia de la humanidad, iniciado precisamente con el descenso de las tasas de mortalidad y el incremento consiguiente de la esperanza de vida en todas las edades. Sí hace el autor, en cambio, atinadas consideraciones sobre los problemas estadísticos que entraña medir la mortalidad. El estadígrafo y el médico prevalecen aquí, como en toda la obra, sobre el historiador y el demógrafo.

Toda la parte central de la obra es, como queda dicho, un estudio histórico de la patología. En 28 capítulos se sigue la Clasificación Internacional de la Organización Mundial de la Salud para analizar otros tantos grupos de enfermedades. Su interés es grande, la bibliografía resulta impresionante con casi tres mil referencias —ninguna en castellano, por cierto— y el rigor científico es mucho, aunque hay que insistir en que por su propia naturaleza se trata de un trabajo de recopilación de información y datos ya publicados, en parte por el mismo autor.

Tal vez en razón de esas limitaciones, falta en esta parte de la obra o en las conclusiones finales una síntesis con las grandes líneas de la evolución de la mortalidad ocasionada por enfermedades. Observación ésta que también se aplica a los ocho capítulos dedicados a otras tantas regiones del mundo.

Con todo, de la lectura, en ocasiones ardua para una persona sin formación médica, se desprenden varias conclusiones, tales como la abundancia de enfermedades en el pasado y su implantación geográfica tan diversa. Aunque muchas veces sea difícil discernir en la mortalidad el peso relativo de lo que fueron hasta hace poco sus dos grandes causas, esto es, desnutrición y malnutrición, por un lado, y enfermedades endémicas o epidémicas, por el otro, se comprende fácilmente leyendo este libro que la morbilidad contribuyera tanto a las altas tasas de mortalidad registradas en toda la historia de la humanidad hasta la transición demográfica. Como también asombra la capacidad de resistencia de la especie que permitía, incluso tras las peores plagas y hambrunas, recuperar los malos años demográficos y seguir creciendo lentamente, hasta la explosión del siglo XIX y, sobre todo, del siglo XX.

Infecciones, tuberculosis, enfermedades bacterianas y víricas, rickettsiosis, paludismo, enfermedades venéreas, helmintiasis, neoplasias, enfermedades endocrinas, avitaminosis, enfermedades de la sangre, del sistema nervioso, cardiovasculares, respiratorias, digestivas, genitourinarias, obstétricas y epidémicas, amén de las anomalías genéticas, se estudian en detalle por ese orden, así como su incidencia y difusión geográfica, aspecto este último donde, como es sabido, la expansión europea desde el siglo XVI hizo estragos en las poblaciones indígenas de otros continentes, en particular América. La página escasa que se dedica a la mortalidad causada en Africa entre los siglos XVI y XIX por la captura y tráfico de esclavos parece insuficiente, sin embargo.

Una breve referencia al SIDA y un análisis de las causas posibles del incremento de los tumores cancerosos ponen la nota de actualidad, aunque es muy poco lo que se dice sobre los accidentes de tráfico, primera causa de mortalidad en determinados grupos de edad de los países motorizados.

Al hablar de la sobremortalidad masculina, una afirmación del autor causa perplejidad. Frente a la teoría cada vez más aceptada de que, salvadas causas históricas de sobremortalidad femenina, por parto o sobreparto o por menor alimentación de las niñas respecto de los niños en sociedades tradicionales de mucho predominio del varón, la mayor longevidad de la mujer se explica por su superior resistencia biológica derivada de su par cromosomático sexual, con la duplicación XX, Lancaster dice que, si no hubiera diferencias en el comportamiento automovilístico y el riesgo ocupacional, la mortalidad por edades arrojaría escasas diferencias entre los sexos. Los datos que da de Australia, únicas cifras que ofrece sobre el particular, no corroboran tal afirmación. Diríase que en este caso, como en otros, cuesta trabajo aceptar la mayor fortaleza del llamado sexo débil.

El índice de materias es muy completo, aunque no hay índice onomástico ni de cuadros y figuras, estas últimas anunciadas en la portada, no se sabe por qué, como ilustraciones.

Una obra, en suma, importante para historiadores de la medicina, valiosa para quien se ocupe de estadísticas de población y útil, como libro de consulta, para el historiador de la demografía. (F. B.)


LA GESTION DEL PLANETA TIERRA

*Número extraordinario de*

INVESTIGACION Y CIENCIA

*Edición española de* SCIENTIFIC AMERICAN

Noviembre de 1989

**Gestión del planeta Tierra**
*William C. Clark*

**Una atmósfera cambiante**
*Thomas E. Graedel y Paul J. Crutzen*

**Un clima cambiante**
*Stephen H. Schneider*

**Los recursos hídricos, amenazados**
*J. W. Maurits la Riviére*

**La biodiversidad, amenazada**
*Edward O. Wilson*

**El crecimiento demográfico**
*Nathan Keyfitz*

**Nuevas estrategias agrarias**
*Pierre R. Crosson y Norman J. Rosenberg*

**Estrategias para el uso de la energía**
*John H. Gibbons, Peter D. Blair y Holly L. Gwin*

**Nuevas estrategias industriales**
*Robert A. Frosch y Nicholas E. Gallopoulos*

**Estrategias para un desarrollo económico viable**
*Jim MacNeill*

**Hacia un mundo viable**
*William D. Ruckelshaus*

# Apuntes

Sancho diría que donde no hay harina todo es mohína. No es muy grande, en efecto, el pastel de la investigación para el ingente número de comensales dispuestos y comienza a oírse voces justamente airadas: amiguismo político en la dirección de los centros y en la colocación allí donde el poder extiende su mano (España y Francia), chauvinismo de las publicaciones (predominio de los autores del país editor) y, ahora, xenofobia ante los investigadores de los países socialistas.

A veces la solución de un problema plantea otros. Ha ocurrido así con los límites impuestos al número de partículas exóticas creadas durante la gran explosión. Se ha restringido el número de partículas dotadas de masa y corta vida que modificaron el curso subsiguiente del universo. Puesto que ahora no se las ve, creyóse que se desintegraron en los neutrinos energéticos, que apenas si interaccionan con la materia restante del universo. Ahora bien, y ahí surge la cuestión, la aniquilación de los neutrinos de desintegración en neutrinos del fondo cósmico da origen a fotones que dividirían los núcleos ligeros sintetizados durante la gran explosión.

La noción intuitiva de cadena trófica marina remite a una continuidad lineal del tenor siguiente: diatomeas—copépodos—peces. Se ha venido defendiendo, en efecto, que la base de la pirámide alimentaria estaría formada por fitoplancton del tamaño de los cinco a los 100 micrometros. El estudio de los últimos lustros ha forzado una revisión menos elemental de los procesos, en la que ocuparían una posición fundamental los microorganismos de 0,2 micrometros de talla. Se trata de bacterias no fotosintéticas, procariotas fotosintetizadores y fotótrofos eucariotas. En total una biomasa suficiente para apuntalar las redes alimentarias de los metazoos.

Un campo que reviste especial atractivo es el de las semejanzas y diferencias entre cometas, meteoritos y asteroides del cinturón principal: cuanto mejor las conozcamos más seguros estaremos de cómo se originó el sistema solar. Las observaciones radáricas del asteroide 1986 DA, rico en metales, nos facultan para atribuir a los meteoritos férricos un origen asteroideo, si es que no poseen meteoritos y asteroides un progenitor común, antepasado que pudo haber vivido una historia trenzada de fusiones, diferenciaciones, enfriamientos y solidificaciones para terminar en un encontronazo con otro cuerpo celeste que lo haría añicos. Del choque quedaron estos objetos metálicos.

Decía el galenismo que el envejecimiento obedecía a la pérdida de calor interior. La técnica agrícola israelí acaba de demostrar que el calor externo enlentece la maduración de las frutas. Sometieron las manzanas a 38°C durante cuatro días, inmediatamente después de su recogida del árbol y antes de ensilarlas. Mientras persistió el tratamiento térmico, ni hubo síntesis de proteínas, ni producción de etileno, ni se reblandeció la poma, procesos que se reanudaron luego con reforzado vigor.

Cuando se habla del impulso que recibe la ciencia de la invención técnica, se acude, para corroborarlo, a la evolución de los telescopios en el macrocosmos y a la experimentada por los microscopios en el microcosmos. Para romper la monotonía comienza a citarse la técnica de la reacción en cadena de la polimerasa, en genética y bioquímica. Hay, empero, casos escondidos que convendría sacar a la luz. En 1735, año en que Linneo publicó su *Systema naturae*, John Harrison inventaba en Inglaterra el primer cronómetro que permitía a los barcos determinar la longitud en mar abierto. Nevil Maskelyne, astrónomo real, se opuso a su uso y ello impidió que el *Endeavour* del capitán Cook lo llevara a bordo. Cuando comenzaron a emplearlo las expediciones naturalistas, la ciencia de la cartografía conoció años de esplendor.

Si del hilo se saca el ovillo, de un grano la cordillera entera. Con una muestra de feldespato de ese tamaño, traída del Himalaya, se ha estudiado el comportamiento del $^{40}Ar$ a distintas temperaturas. Mediante el calentamiento por fases de la muestra y el análisis del gas que emanaba de la misma en cada temperatura, se ha reconstruido la historia del enfriamiento del grano fundándose en el rango de edades del isótopo del argón. Hace veinte millones de años la muestra yacía a 10 km bajo la superficie; hace cinco, se hallaban a sólo dos bajo el suelo. En ese intervalo se produjo, pues, el levantamiento de la cordillera himalaya.